

Jari Vuorio

TUOTANTOSUUNNITELMAN OPTIMOINTI NUMEERISELLA SIMULOINNILLA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Diplomityö

Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

JARI VUORIO: Tuotantosuunnitelman optimointi numeerisella simuloinnilla

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Johtamisen ja tietotekniikan DI- tutkinto- ohjelma

Marraskuu 2019

Diplomityön kohdeyritys valmistaa lautapelejä Suomessa. Yritys valmistaa peleihin tulevat paperi-, kartonki- ja pahviosat omassa tuotannossaan Porissa. Pelien kokoonpano tapahtuu yrityksen kahdella pelilinjalla. Tuotannon kuormitus perustuu budjetointiin ja reaaliaikaisiin tilauksiin. Kysynnän ollessa kausiluonteista yritys tarvitsee suunnittelumenetelmän epätasaisen kuormituksen hallintaan. Tämän työn tavoitteena oli löytää sopiva simulointimenetelmä valmistuserien allokointiin.

Työ koostuu kolmesta osuudesta: valmistus- sekä varastointikustannusten määrittämisestä, valmistuserien mallinnusmenetelmien teoriasta ja simulointityökalun valmistamisesta. Työn teoreettinen tutkimustyö toteutettiin perehtymällä suomalaisiin ja ulkomaalaisiin numeerista simulointia koskeviin kirjallisuuslähteisiin. Teoriataustasta saatiin selville muun muassa eri tuotantosarjojen mallinnusmenetelmien merkitys tuotannon suunnittelussa. Teoriaosuudessa esitellään työhön valittujen mallinnustekniikoiden perusteoriaa niin, että ne saadaan toimimaan taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Teoriaa on esitelty käyttäen apuna mallinnuskuvia, jotka selvittävät jokaisen mallin toiminnallisuuden. Työssä käytettyjä mallinnustekniikoita oli yksi staattinen menetelmä ja kahdeksan dynaamista menetelmää. Työtä varten tehtiin esivalmisteluita sisäisten kustannustietojen hankkimiseksi. Esivalmistelut käsittivät työaikojen seurannan viikkoraporttien avulla ja jalostusketjun laatimisen yhdelle tuoteformaatille, jota työssä käytettiin esimerkkinä. Valmistuskustannuksiin laskettiin sisäiset asetuskustannukset sekä valmistuksen sisäiset yksikkökustannukset. Varastointikustannukset laskettiin yrityksen tietojen perusteella pelikohtaiseksi kuukausitasolla. Työssä luotiin taulukkolaskentapohjainen työkalu helpottamaan ja nopeuttamaan tuotannon suunnittelua. Työkalu tehtiin kaksivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa verrattiin yhdeksää eri mallinnusmenetelmää keskenään, jonka jälkeen näistä valittiin lopullisen työkaluun tulevat mallinnusmenetelmät.

Työn tuloksista käy ilmi lopullisen työkalun sisältävän kolme valittua mallinnustekniikkaa. Tärkeimpinä valintakriteereinä olivat menetelmien toimivuus kohdeyrityksen ympäristössä ja niiden soveltuminen kohdetuotannon suunnitteluun. Työkalun käyttö vaatii lyhyen käyttökoulutuksen ja sen toiminen omassa ympäristössä mahdollistaa valmistuserien eri vaihtoehtojen mallinnuksen käytössä olevan tuotannonohjausjärjestelmän rinnalla.

Avainsanat: numeerinen simulointi, tuotannon optimointi, jalostusketju, dynaaminen eräkoon määrittäminen.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck-ohjelmalla.

ABSTRACT

JARI VUORIO: Optimization of the production plan with numeric simulation

Master thesis

Tampere University

Master of Science in Management and Information Technology

November 2019

The target company of the thesis produces board games in Finland. The company manufactures paper, board and cardboard parts for games in its own production in Pori. The games are set up on the company's two gamelines. The production planning is based on budgeting and real-time orders. Because demand is seasonal, the company needs a planning method to manage uneven demand. The aim of this work was to find a suitable simulation method for batch allocation.

The thesis work consists of three parts: the determination of manufacturing and storage costs, the theory of batch modeling methods and the preparation of a simulation tool. Theoretical research work was carried out by studying Finnish and foreign literature on numerical simulation. The theoretical background revealed, among other things, the importance of modeling methods for different production series in production planning. The theory section introduces the basic theories of the selected modeling techniques to make them work in a spreadsheet implementation environment. The theories are presented using modeling pictures that explain the functionality of each model. The modeling techniques used in this work were one static method and eight dynamic methods. Preparations were made for the work to obtain internal cost data. The preparations included monitoring working hours through weekly reports and developing a processing chain for a single product format, which was used as an example in the work. Manufacturing costs included internal setup costs as well as unit manufacturing costs. Storage costs were calculated on a monthly basis per game based on company data. A spreadsheet based tool was created to simplify and speed up production planning. The tool was made in two steps. First, nine different modeling methods were compared with each other, and then the modeling methods included in the final tool were selected.

The results show that the final tool contains three selected modeling techniques. The most important selection criteria were the functionality of the methods in the target company environment and their applicability to the target production planning. The use of the tool requires short training and its operating in its own environment enables modeling of different batch alternatives alongside the production control system in use.

Keywords: numerical simulation, production optimization, processing chain, dynamic batch size determination.

The originality of this thesis has been checked using the Turnit OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kirjoitettu syksyn 2018 ja kevään 2019 aikana. Ensimmäiset työhön liittyvät teoriaosuudet olivat tutkittavana jo 2015 tieteellisen kirjoittamisen harjoitustyössä, jossa tein samaan yritykseen kuin tämä diplomityö on tehty, optimaalisen eräkoon määrittämiseen liittyvän tutkimuksen. Työn käytännön valmistelut alkoivat jo vuoden 2018 alussa liittyen työssä tarvittaviin esivalmisteluihin. Työ eteni jouhevasti ja opetti tekijäänsä koko prosessin ajan. Etenemiseen ja oppimiseen vaikuttivat positiivisesti näiden kahden kirjallisen työn yhdistäminen ja tutun kohdeyrityksen, eli oman työpaikan vaikutukset.

Suuri kiitos tuesta ja kärsivällisyydestä tämän diplomityön aikana kuin myös koko aikuisiänopiskelun aikana kuuluu perheelleni. Iso kiitos kuuluu myös Tampereen Yliopiston Porin yksikölle, joka on mahdollistanut opiskelun ja tietojen päivittämisen työn ohessa entiselle nuorelle. Erityiskiitos dosentti Rainer Breitelle tämän työn ohjaamisesta sekä opastamisesta ja koko opiskeluaikani omaan työhöni liittyvistä tuotannon ohjaamiseen sekä johtamiseen liittyvistä kursseista käytännön neuvoineen. Erityiskiitos vielä matematiikan opettajille Juha Tantulle ja Timo Rannalle, jotka saivat minut innostumaan matematiikasta uudelleen.

Kankaanpäässä, 3.11.2019

Jari Vuorio

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rajausta	1
1.2 Tutkimusongelma	3
1.3 Työn tutkimusmenetelmät ja rakenne	3
2. KUSTANNUSTEN TUTKIMINEN	6
2.1 Valmistuskustannukset ja varastointikustannukset	6
2.1.1 Varastointikustannusten muodostuminen	6
2.1.2 Varastointikustannusten laskeminen	8
2.1.3 Valmistuskustannusten muodostuminen	9
2.1.4 Valmistuskustannusten laskeminen	10
2.1.5 Valmistuskustannusten yksilöinti	11
2.2 Jalostusketjun kuvaus	12
2.3 EBQ taloudellisen eräkoon optimointimenetelmä	14
2.4 Dynaaminen eräkoon mallinnus	16
2.4.1 Lot For Lot	17
2.4.2 Least Unit Cost	18
2.4.3 Least Total Cost	19
2.4.4 Period Order Quantity	20
2.4.5 Part Period Balancing	21
2.4.6 Fixed Period Demand	22
2.4.7 Wagner-Whitin menetelmä	22
2.4.8 Silver-Meal method	24
3. TUOTANNON SUUNNITTELUN NUMEERINEN SIMULOINTI	26
3.1 Jalostusketjun kuvausten laatiminen	26
3.1.1 Viikkoraportit	28
3.1.2 Asetuskustannukset	30
3.1.3 Valmistuskustannukset	30

3.1.4	Varastointikustannukset	31
3.1.5	Tuotteiden vuosibudjetit	31
3.2	Numeerinen simulointi	32
3.2.1	Simulointityökalun toteutus	33
3.2.2	Lot For Lot	35
3.2.3	EBQ – Optimaalinen eräkoko.....	36
3.2.4	Least Unit Cost	38
3.2.5	Least Total Cost.....	39
3.2.6	Period Order Quantity	41
3.2.7	Part Period Balancing	42
3.2.8	Fixed Period Demand	43
3.2.9	Wagner-Whitin algoritmi.....	44
3.2.10	Silver-Meal method	45
3.2.11	Simulointityökalun käyttäminen	46
4.	TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI	47
4.1	Työn keskeiset tulokset	47
4.1.1	Simulointityökalu	48
4.1.2	Tuotekohtainen vertailu käytetyille menetelmille	50
4.1.3	Yksikkökustannusten tavoiteluku	53
4.2	Tulosten arviointi	54
4.2.1	Simulointityökalu	55
4.2.2	Menetelmien välinen vertailu.....	55
4.2.3	Yksikkökustannuksen pieneneminen	55
4.2.4	Säästön toteuttaminen	56
4.2.5	Tutkimuksen teorian tarkastelu	57
4.3	Suositukset jatkotoimenpiteiksi	58
5.	YHTEENVETO.....	59

LÄHTEET:	63
LIITE 1: ALOITUSHAASTATTELUN POHJA	65
LIITE 2: KÄYTTÄJÄKOKEMUSHAASTATTELUN POHJA.....	66
LIITE 3: LUC-MENETELMÄN RAKENNE	67
LIITE 4: LTC-MENETELMÄN RAKENNE.....	68
LIITE 5: FPD-MENETELMÄN RAKENNE	69
LIITE 6: WW-MENETELMÄN RAKENNE.....	70
LIITE 7: SM-MENETELMÄN RAKENNE	71
LIITE 8: ESIMERKKI VIIKKORAPORTISTA	72
LIITE 9: ALIAS-RYHMÄN JALOSTUSKETJU	73
LIITE 10: SIMULOINTITYÖKALUN ETUSIVU	74

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Mukaillen kuvaa 6-1 Varasto muodostuu kahdesta osasta: aktiivi- ja passiivivarastosta [6].....</i>	<i>7</i>
Kuva 2.	<i>Kokonaiskustannusten kuvaaja mukaillen kuvia [9], s. 464, 470-471. ...</i>	<i>10</i>
Kuva 3.	<i>Jalostusketjun kuvaus mukaillen Lean Management- teoriaa [11].....</i>	<i>13</i>
Kuva 4.	<i>Esimerkki EBQ:n avulla toteutetusta saatavuudesta</i>	<i>14</i>
Kuva 5.	<i>Eräkoon määrityksessä käytettäviä malleja jaoteltuna tyyppin mukaan. Kuva mukailee ”perencanaan-kebutuhan-bahan” web-sivuilta [19] haettua mallikuvaa.....</i>	<i>17</i>
Kuva 6.	<i>Esimerkki LFL- menetelmästä.....</i>	<i>18</i>
Kuva 7.	<i>Esimerkki työkohtaisesta työajan seurannasta.....</i>	<i>27</i>
Kuva 8.	<i>Esimerkki koneiden teknisistä tiedoista haetuista konekohtaisista nopeuksista. Kuvassa painokoneen CD-102 tekniset tiedot</i>	<i>29</i>
Kuva 9.	<i>Esimerkki budjettikortista. Kuvassa Alias Original FI pelin vuoden 2019 budjetti.....</i>	<i>32</i>
Kuva 10.	<i>Kaavio simulointityökalun toiminnasta.....</i>	<i>35</i>
Kuva 11.	<i>Kuva simulointityökalun ”LFL -välilehdestä”. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b. Vihreässä sarakkeessa on valmistuserien kappalemäärät, jotka ovat suoraan kysynnän mukaan. Punaisessa sarakkeessa ovat asetuskustannukset. Ruskea sarake, jossa ovat varastokustannukset ovat nollarivejä. Harmaassa sarakkeessa ovat valmistuskustannukset erää kohti</i>	<i>36</i>
Kuva 12.	<i>Kuva simulointityökalun EBQ -välilehdestä. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b.</i>	<i>37</i>
Kuva 13.1	<i>Kuva simulointityökalun LUC -välilehden allokointia varten tehty aputaulukko</i>	<i>38</i>
Kuva 13.2.	<i>Kuva simulointityökalun LUC - välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b. Keltaisella pohjalla olevien valmistuserien kustannukset kerätään vertailulaskelmaan.</i>	<i>39</i>

Kuva 14.	<i>Kuva simulointityökalun LTC -välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b. Keltaisella pohjalla olevien valmistuserien kustannukset kerätään vertailulaskelmaan ja vihreällä pohjalla löytyvät toteutettavat valmistuserät.....</i>	<i>40</i>
Kuva 15.	<i>Kuva simulointityökalun POQ -välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b</i>	<i>41</i>
Kuva 16.	<i>Kuva simulointityökalun PPB -välilehden eräkokojen ja ajotiheyksien laskemisesta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b. Keltaisella pohjalla ovat toteutettavat valmistuserät ja niiden allokointi on vihreällä pohjalla.</i>	<i>43</i>
Kuva 17.	<i>Kuva simulointityökalun FPD -välilehden vertailusta periodien yhdistämisen eri variaatioista n:n ollessa 2, 3 tai 4.</i>	<i>44</i>
Kuva 18.	<i>Kuva simulointityökalun W-W-välilehden allokoinnista.</i>	<i>45</i>
Kuva 19.	<i>Kuva simulointityökalun SM -välilehden allokointitaulukosta.....</i>	<i>46</i>
Kuva 20.	<i>Alias FI budjettikortti.....</i>	<i>47</i>
Kuva 21.	<i>Alias FI tulosten antama järjestys eri menetelmille ja suositellut eräkoot. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b.</i>	<i>48</i>
Kuva 22.1.	<i>Alias FI tulokset lopullisella työkalulla.....</i>	<i>50</i>
Kuva 22.2.	<i>Alias Jr NO tulokset lopullisella työkalulla.....</i>	<i>50</i>
Kuva 22.3.	<i>Alias NO tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>51</i>
Kuva 22.4.	<i>Alias RU tulokset lopullisella työkalulla.....</i>	<i>51</i>
Kuva 22.5.	<i>Alias SE tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>51</i>
Kuva 22.6.	<i>Party FI tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>52</i>
Kuva 22.7.	<i>Party RU tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>52</i>
Kuva 22.8.	<i>I am Alias SE tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>52</i>
Kuva 22.9.	<i>Late Night Alias PL tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>53</i>
Kuva 22.10.	<i>Family RU tulokset lopullisella työkalulla</i>	<i>53</i>

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Varastointikustannusten teoreettinen jakautuminen.</i>	<i>9</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Koontitaulukko, jossa menetelmien välinen vertailu, suositellut valmiserien lukumäärät ja yhteinen valmistuksen sekä varastoinnin yksikkökustannus.....</i>	<i>54</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

SERVICE CENTER	Myynnin linkki asiakkaan ja tuotannon välillä.
USILP	Yhden tuotteen eräkoon ongelma.
ALIAS-RYHMÄ	Formaatti, joka sisältää säännöt, pelilaudan, kortit ja kotelon.
EBQ	Optimaalisen eräkoon laskeminen, Wilsonin kaava.
EBQ kok	EBQ:n arvo, jos tuote valmistetaan yksittäisenä tuotantona pelilinjalla.
EBQ tod	EBQ:n arvo, jos tuote valmistetaan yhdistettynä saman formaatin yhteistuotantona pelilinjalla.
LUC	Least Unit Cost.
LTC	Least Total Cost.
LFL	Lot For Lot.
POQ	Period Order Quantity.
PPB	Part Period Balancing.
FPD	Fixed Period Demand.
W-W	Wagner-Whitin algoritmi.
SM	Silver-Meal method.
k	Yksikkökustannuksen keskiarvo laskettavien periodien osalta.
c	Asetus- ja varastointikustannusten ero laskettavien periodien osalta.
t	Periodien lukumäärä.
A	Asetuskustannukset.
S_t	Asetuskustannus periodilla t.
P	Valmistuksen yksikkökustannus.
H	Varastointikustannukset.
I_t	Varastointikustannukset periodilla t.
E_t	Varastosaldo, joka siirretään seuraavaan periodiin
D	Tarve, kysyntä.
EPP	Taloudellinen osaperiodi, vertailuluku kerääntyneiden asetuskustannusten ja varastoinnin yksikkökustannusten välillä.
Q	Valmistuserän koko.
X_t	Valmistuserän koko periodilla t.
Y_t	Näennäismuuttuja, joka on 1, jos $X_t > 0$, muuten 0.
M	Muuttuja, joka kuvaa periodin määrän lähestyvän ääretöntä.
b	Valmistuksen yksikkökustannus.

1. JOHDANTO

Kuluttajille suunnatun toimitusketjun hallinnassa valmistavat yritykset, eli tuottajat, kokevat haasteita saatavuuden ja varastoinnin osalta. Kauppaliikkeitä ohjaavat keskusliikkeet minimoivat omat varastonsa, mutta edellyttävät valmistajilta nopeaa sekä monipuolista saatavuutta. Verkkokaupan merkityksen kasvaminen luo uusia paineita hyödykkeiden tuottajille. Verkkokauppa lisää entisestään tuotteiden varastointitarpeita sekä lyhentää ostettujen tuotteiden toimitusaikoja. Hyödykkeiden tuottajien on pystyttävä valmistamaan tuotteet kustannustehokkaasti, mutta on myös pystyttävä kohdentamaan varastointikustannukset tehokkaasti oikeille tuotteille ja osattava minimoida varastoinnin sekä valmistuksen yhteiskustannukset.

1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rajaus

Kohdeyrityksen tuotannonsuunnittelun suurimmat haasteet liittyvät budjettien epävarmuustekijöihin ja suureen nimikkeiden määrään. Nämä haasteet vaikeuttavat yrityksen tavoitetta palvella asiakkaita oikea-aikaisesti niin, että yhtään tilausta ei tarvitse perua tuotteiden saatavuuden takia. Yrityksessä pyritään varmuusvarastojen lisäksi kohdentamaan varmaa saatavuutta tiettyihin tuotteisiin. Tuotannon suunnittelu kohtaa suurien nimikemäärien ja budjettien epävarmuuden vaikutuksen ensisijaisesti materiaalien hallinnassa. Yrityksessä käytettävien materiaalien 4-6 viikon toimitusajat edellyttävät ennakointia tilausten tekemisessä toimittajille. Muuttuvien ja tarkentuneiden kysyntätietojen vaikutukset tuotantosuunnitelmaan voivat johtaa materiaalien puuttumiseen tai ylivarautumiseen.

Tuotannon suunnittelun haasteena on myös tasapainoilu kahden aikataulullisesti erilaisen tuoteryhmän välillä. Kustannettavat tuotteet toimivat budjettien avulla. Yrityksen palveluihin kuuluu myös asiakastuotteiden valmistaminen. Nämä reaaliaikaiset ja toteutuneet asiakastilaukset ovat aikataulutettu nopeimman mahdollisen toimitusajan mukaan. Tarjousvaiheessa joudutaan kuitenkin sitoutumaan ennakkoon sovittuun aikatauluun. Näiden kahden eri tuoteryhmän liittäminen samaan tuotantosuunnitelmaan vaatii joustamista ja budjettiin perustuvien kustannettavien tuotteiden valmistuksen ennakointia.

Budjettien laatiminen on aina ennustamista, vaikka sitä pyritään säännöllisesti päivittämään kauppaliikkeiden kanssa esimerkiksi tilastojen seuraamisella. Myynnin on kuitenkin tehtävä aktiivisesti myyntityötä ja tämä voi johtaa epärealistisiin ennusteisiin. Budjetoinnin onnistuminen vaikuttaa varastointikustannusten muodostumiseen. Suuri nimikemäärä vaikeuttaa tuoteportfolion hallintaa. Se johtaa mahdollisiin epätarkkuuksiin suunniteltaessa tuotantosarjoja. Peruskysymys onkin, tehdäänkö oikeita tuotteita.

Tuotannon suunnittelulle nämä edellä mainitut haasteet tuovat epävarmuutta oikeiden materiaalien hankintaan sekä oikea-aikaisen tuotantokapasiteetin varaamiseen. Tuotannon suunnittelu tarvitsee joustavan tuotannon näiden haasteiden voittamiseksi. Lisäksi tuotannon on pystyttävä asettamaan kriteerit tulevien muutosten hallitsemiseksi. Kriteerien avulla tavoitellaan aktiivista kanssakäymistä tuotannon sidosryhmien kanssa, jotta pystytään ennakoimaan tuleva jouston tarve ajoissa. Tämä tarkoittaa aktiivista yhteydenpitoa myynnin ja tuotannon suunnittelun välillä.

Tutkimukselle asetettu tavoite, joka saavutettiin, oli löytää numeerinen simulointimalli tehokkaan valmistuksen ja oikein kohdistetun varastoinnin ratkaisemiseksi. Tavoitteeseen pääseminen edellytti asiakasrajapinnan tuntemista luotettavien ennusteiden saamiseksi ja valmiuksia joustavaan tuotantoon valmistuserien muokkaamista varten. Valmistavan yrityksen myynnin yhtenä tärkeänä tehtävänä on tulevan kysynnän realistinen selvittäminen. Tuotannon tehtävänä on keskittyä eri kokoisten sarjojen tehokkaaseen valmistukseen ja ylläpitää tehokkuutta olemalla valmis muutoksiin. Tavoiteltava optimiratkaisu valmistuserien varhaisessa suunnittelussa auttaa logistiikkaa suunnittelemaan oman kapasiteettitarpeen tuotantosuunnitelman mukaisesti.

Työn tekemiselle asetettiin aloitushaastattelussa kolme rajoitetta. Ensimmäinen rajausta tehtiin valitsemalla työn kohteeksi tuotantosarjojen valmistus ja varastointi. Oletuksena on, että myynnin budjetit on tehty realistisesta näkökulmasta ja ennustetut kysynnot uusien sekä vanhojen tuotteiden osalta on laadittu yhdessä tuotekehityksen sekä keskusliikkeiden kanssa. Toinen rajausta tehtiin tuoteryhmä-tasolla. Suurin tuoteryhmä, eli esimerkkinä käytetty "Alias-ryhmä:n" tuoteformaatti, käsittää noin 50% yrityksen myynnistä ja sisältää useita eri pelejä, joita yhdistää pelinosien osalta sama formaatti [1]. Yrityksen toimitusjohtajan, Mika Tarvaisen, mukaan tämän tuoteryhmän hallitseminen antaa edellytyksen tehokkaalle valmistukselle, koska se perustuu yrityksen ydinosaamiseen. Kolmas rajausta tehtiin valitsemalla simulointityökalun pohjaksi taulukkolaskennan toteutusympäristö. Taulukkolaskennan käyttäminen perustuu myynnin ja tuotannon välissä olevan palveluyksikön, "Service Center:n", valmiuteen työskennellä tehokkaimmin käyttämällä taulukkolaskennan mahdollistamaa

yksinkertaista toimintatapaa. Tämä tarkoittaa, että vertailuun otettavista menetelmistä lopulliseen työkaluun valitaan testikäytön jälkeen parhaiten taulukkolaskennan toteutusympäristössä toimivat menetelmät.

1.2 Tutkimusongelma

Tutkimuksessa tarkoituksena on selvittää, mikä merkitys on numeeriseen simulointiin perustuvan työkalun käyttöönottamisella lautapelejä valmistavassa yrityksessä. Aihe on ajankohtainen, koska yrityksen tuotteiden nimikemäärä on suuri ja nimikkeiden kysynät poikkeavat suuresti toisistaan. Tarve tutkimukselle syntyi, koska yrityksen kustannukset peliä kohti ovat nousseet palkkakehityksen myötä.

Tutkimusongelma vastaa kysymykseen, kuinka voidaan valmistuseriä optimoida hakien säästöä tuotanto- sekä varastointikustannuksissa. Tutkimusongelmaan haetaan ratkaisua niistä mallinnusmenetelmistä, joista löytyy riittävästi materiaalia. Kohteena olevien mallinnusmenetelmien toiminnot ovat esitelly lähdeteoriassa ja tämän teorian avulla rakennettiin mallinnusmenetelmien vertailuun tarkoitettu työkalu.

Diplomityön tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä valmistuserien mallinnusmenetelmät toimivat parhaiten kohdeympäristössä?
- Mitkä valmistuserien mallinnusmenetelmät kannattavat valita lopulliseen työkaluun?
- Mikä kustannusvaikutus saadaan optimoimalla valmistuseriä?

1.3 Työn tutkimusmenetelmät ja rakenne

Tutkimusmetodologia noudattaa konstruktiivista tutkimusotetta, jossa sovitetaan uusia kokemuksia ja tietoja olemassa olevaan järjestelmään. Tutkimusote noudattaa soveltavan tutkimuksen oletuksia, eli hyödyntää teoreettista tutkimusta, tukeutuu testaavaan osuuteen ja tavoittelee suositusten antamista [2].

Prosessi uusien kokemusten ja tietojen sovittamisessa nykyiseen järjestelmään sisältää seitsemän vaihetta [2]: Ongelman etsiminen, tutkimusyhteistyön mahdollisuudet, aiheen syvälinen tuntemus, ratkaisumallin innovointi, ratkaisun toteutus sekä testaus, ratkaisun soveltaminen ja tutkimustuloksen analysointi. Ongelman etsiminen ja tutkimusyhteistyön määrittäminen käsittävät yrityksen tahtotilan tuotantosuunnitelman tehostamiseksi määrittäen tahot, jotka ovat osallisia projektissa. Syvällistä tuntemusta varten tutkimusteoria kootaan hyödyntäen työhön soveltuvia artikkeleita sekä oppikirjoja, joiden avulla haetaan niissä käytettyjä lähdemateriaaleja tukemaan teoriaa. Ratkaisumallin innovointi tapahtuu tutkimuksen kohdeyrityksessä analysoimalla eri vaihtoehtoja.

Ratkaisun toteutus ja testaus tehdään lähdemateriaalin perusteella rakentamalla yhdeksän testattavaa malliratkaisua. Ratkaisun soveltaminen tehdään käyttökokemusten perusteella tukeutuen testin antamiin tuloksiin sekä käyttäjille tehtyyn haastatteluun. Käyttäjät haastatellaan käyttäen liitteen 2 mukaista haastattelupohjaa. Tutkimustuloksen analysoinnissa verrataan saatuja tuloksia nyt käytössä oleviin arvoihin.

Teoreettinen osuus vertailusta tehdään päätelemällä, eli ensimmäisen vaiheen päätös yhdeksän optimointimenetelmän valinnasta kohdemenetelmiksi tehdään deduktiivisen päättelyn avulla [3]. Päättelyn tulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat tiedon saannin selkeys ja arvio toiminnasta taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Toisen vaiheen käytännön työ sijoittuu soveltavan tutkimuksen alueelle. Tämä tarkoittaa käyttökokemuksen merkitystä lopullisen työkalun valinnassa [2]. Valintoja varten valitaan testihenkilöt, jotka käyttävät työkalua. Käyttökokemuksen aikaansaaminen vaatii empiiristä testausta työn aikana. Kumpikin edellä esitelty vertailu perustuu kvalitatiiviseen vertailuun, jossa laatuksiteereinä ovat toiminnan taso valituilla budjeteilla ja käyttökokemuksen helppous kohdeympäristössä [3].

Toisen vaiheen empiiriseen vertailuun vaikuttaa menetelmien välinen paremmuus kustannusehdotusten osalta. Paremmuus selvitetään vertailemalla eri menetelmien antamia valmistuserien allokointiratkaisuja. Numeerinen simulointi antaa yhdeksälle eri laskentamallille ehdotukset tuotantosarjojen ajankohdaksi sekä löytää kustannuksien osalta parhaat valmistusmäärät kyseisten ajankohtien tuotantosarjoille. Menetelmien välinen vertailu rajaa lopulliseen työkaluun valittavat menetelmät. Testisimulointien jälkeen perustuen käyttäjien käyttökokemukseen työkalusta muokataan yksinkertainen ja helppokäyttöinen simulointityökalu rajaamalla laskentamallien määrää. Työkalu tulee yrityksen Service Centerin ja tuotannon yhteiskäyttöön.

Esivalmisteluna työn kohteeksi valitulle "Alias-ryhmälle" lasketaan jalostusketjun kuvauksen avulla sisäiset valmistuskustannukset yksikkökustannus -periaatteella ja asetuskustannukset. Seuraavassa esivalmistelun vaiheessa lasketaan varastointikustannukset yhtä tuotetta kohti kuukausitasolla. Kolmannessa esivalmistelun vaiheessa haetaan eri tuotteille kuukausibudjetit vuodelle 2019. Varsinainen numeerinen simulointi aloitetaan laskemalla ensin EBQ, eli optimaalinen valmistuserä tuoteryhmälle.

Tämän jälkeen tehdään vertailulaskelmat kahdeksalle muulle optimaalisen eräkoon laskemiseen soveltuvalle menetelmälle, jotka ovat: LUC, LTC, LFL, POQ, PPB, FPD, W-W ja SM.

Vertailu tehdään rakentamalla taulukkolaskennan toteutusympäristöön yhdeksän vertailulehteä, eli jokaiselle menetelmälle tulee oma välilehti, sekä yhteinen "planner"-aloituslehti. Vertailulehdillä jokainen menetelmä laskee oman parhaan valmistus- sekä varastointikustannusten yhdistelmän ja antaa ehdotuksen tuotantosarjojen ajankohdalle sekä suuruudelle. "Planneriin" tuodaan tuotekohtaiset kuukausibudjetit ja sinne palautetaan jokaisen yhdeksän välilehden antamat kustannukset. "Plannerissa" lajitellaan vertailukohteet pienimmästä kustannuksesta suurimpaan ja minimifunktion ehtolauseella tuodaan "planneriin" tehokkaimman menetelmän tuotantosarjojen allokointiehdotus. Vertailun aikana keskitytään eri välilehtien toiminnan helppouteen, eli kuinka paljon tarvitaan osaamista tarvittavien tietojen hakemiseen välilehdiltä. Etukäteen valituista menetelmistä valitaan toimivimmat menetelmät lopulliseen simulointityökaluun.

Työ käsittää 4 lukua, yhteenvedon ja liitteet. Luvussa 2 esitetään työssä käytetty teoria. Luvussa 3 esitellään numeerisen simulointityökalun valmistaminen. Luvussa 4 esitetään työn tulokset ja niiden arvioinnit. Luvussa 3 keskitytään tutkimusongelmaan käytännön tasolla ja luku 4 antaa vastaukset tutkimuskysymyksiin. Alaluvussa 4.3 on jäsennetty suositukset jatkotoimenpiteistä.

2. KUSTANNUSTEN TUTKIMINEN

Diplomityön varsinaisena teoria-aineistona olivat kotimaiset sekä kansainväliset valmistuserien optimointiin ja simulointiin keskittyvät kirjat, artikkelit ja opetusmateriaalit. Teoria-aineistoa oli saatavilla runsaasti. Artikkelien osuus saatavilla olevasta aineistosta oli suuri.

Luku 2 esittelee teorian kustannusten muodostumisesta ja testiin valikoiduista optimointimenetelmistä. Yrityksen varastointi- ja tuotantokustannusten muodostuminen noudattaa yleistä yritysten kustannusten muodostumista [7]. Optimointimenetelmiksi valikoitui yhdeksän menetelmää. Optimointimenetelmien valintatilanteessa hyödynnettiin suunnitteluasteella olevan simulointityökalun tavoitteellista toimintamallia. Tämän toimintamallin perusteella valittiin perustana olevan EBQ-menetelmän lisäksi kahdeksan erilaista menetelmää. Tavoitteena oli saada mahdollisimman erityyppiset menetelmät tutkimuskohteeksi. Valintojen jälkeen kerättiin teoriaa valituille menetelmille niiden käyttämiseksi taulukkolaskentaympäristössä.

2.1 Valmistuskustannukset ja varastointikustannukset

Valmistuserien optimoinnin perustana on valmistuskustannusten ja varastointikustannusten tutkiminen. Työssä haetaan optimipistettä, jolloin näiden kustannusten yhteisarvo on pienimmillään. Kummankin kustannuslajin tunteminen ja muodostuminen selvitetään erikseen.

Selvityksessä käytetään teorialuvun aineistoa sekä yrityksen sisäisiä kustannusraportteja. Kustannukset perustuvat vuoden 2018 raportteihin ja tämän hetkisiin palkkatietoihin.

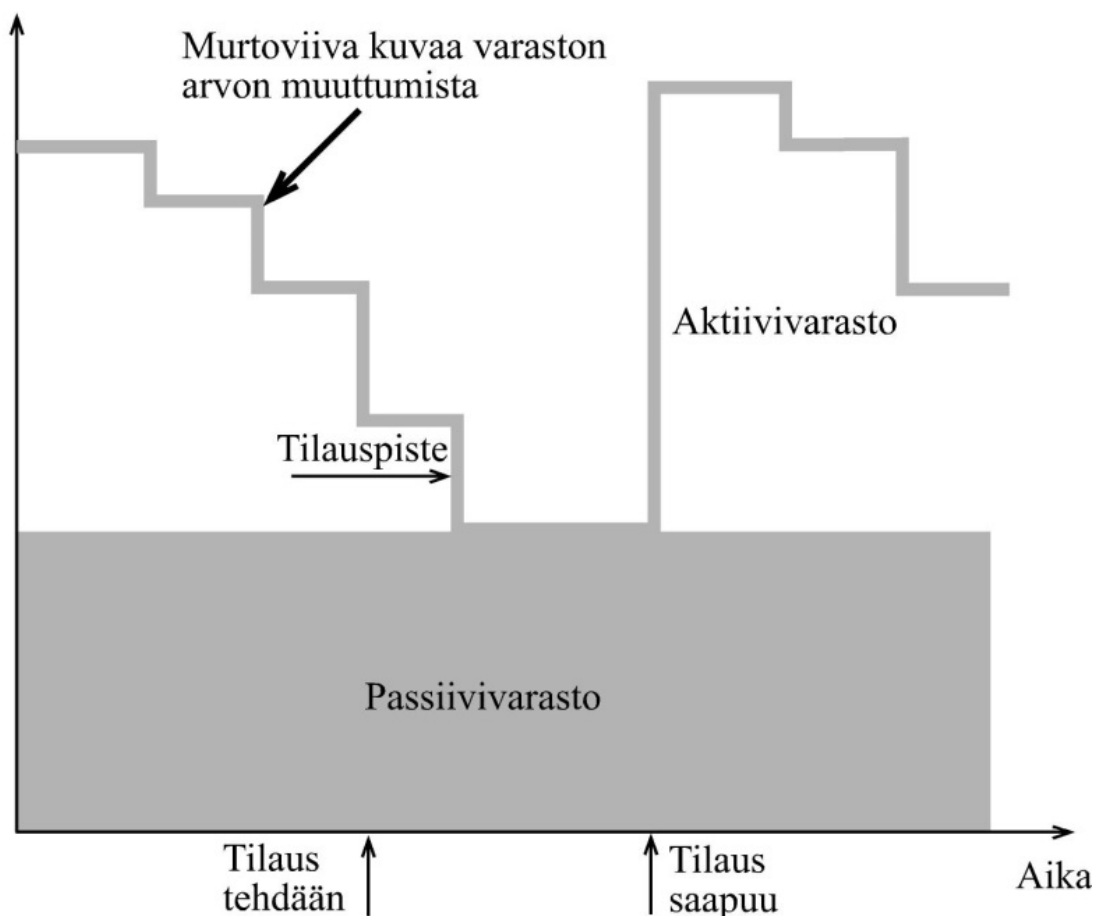
2.1.1 Varastointikustannusten muodostuminen

Varastointi on seurausta yrityksen pyrkimykselle palvella asiakasta oikea-aikaisesti. Varastointi pyrkii poistamaan tilanteet, joissa asiakas peruu mahdollisen tilauksen saatavuuden takia. Varaston hallinta on tärkeä osa yrityksen logistista toimintaa. Logistiikan, mukaan lukien sekä hankinta- että jakelulogistiikka, tehtävänä on sitoa yritysten arvoketjujen muodostamien järjestelmien eri vaiheet toisiinsa siten, että alkutuotannosta lähtien saadaan tarvittavat materiaalit, komponentit ja tuotteet siirrettyä tarvittavien jalostus-, siirto- ja varastointivaiheiden kautta varsinaisten loppumarkkinoiden käyttöön [5].

Yritys tarvitsee varastointia tuotteen valmistusketjun ylläpitoon ja valmiiden tuotteiden nopean saatavuuden hallitsemiseksi. Yrityksessä on aktiivi- ja passiivivarastoja. Aktiivivarasto syntyy, kun saapuva tai valmistettava tavaraerä on kooltaan välitöntä tarvetta suurempi. Aktiivivaraston koko on puolet saapuneiden ostoerien keskikoosta. Aktiivivaraston käyttämiselle on etukäteen laadittu suunnitelma. Passiivivarasto syntyy suunnittelematta tai puutteellisen suunnittelun seurauksena. Passiivivarasto voi käytännössä olla esimerkiksi puskuri- tai varmuusvarasto [6].

Etäisyydet valmistajan, materiaalien toimittajien ja asiakkaan välillä johtavat varastointiin. Materiaalien ostoerien koon maksimoinnilla saadaan taloudellista hyötyä yksikkökustannuksissa sekä kuljetuskustannuksissa [6].

Arvo



Kuva 1. Mukailleen kuvaa 6-1 Varasto muodostuu kahdesta osasta: aktiivi- ja passiivivarastosta [6].

2.1.2 Varastointikustannusten laskeminen

Varastointikustannusten tason määrittää haluttu palvelutaso, johon yritys on päättänyt sitoutua. Varastointikustannukset koostuvat raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden varastoinnin hallinnasta. Varastointikustannukset voidaan jaotella kahteen pääryhmään: materiaalihallinnan kustannuksiin ja varastoinnin suoriin kustannuksiin [7].

Materiaalihallinnan kustannukset:

- varastointikustannukset
- ostettavien materiaalien hinta
- oston omat kustannukset
- kuljetus- ja vastaanottokustannukset
- jakelukustannukset
- materiaalivirheiden aiheuttamat kustannukset
- puutekustannukset
- reklamaatiokustannukset

Varastoinnin suorat kustannukset:

- varaston henkilöstökustannukset
- varaston tilakustannukset
- varaston laitekustannukset
- materiaalien ja varastoitavien tuotteiden käsittelykustannukset
- hallintokustannukset
- riskikustannukset

Varastoinnin kustannukset sisältävät kustannuksia, jotka eivät ole tarkasti ennustettavissa. Materiaalivirheet, alitoimitukset ja reklamaatiot aiheuttavat hävikkikustannusta. Tästä syystä yritysten sisäiset laskelmat varastoinnin suhteen perustuvat prosentuaalisiin arvioihin. Alla on esitetty Teollisuustalouden (2009) oppikirjan [7] mukainen jaottelu varastointikustannusten jakaantumisesta ja niiden osuudesta koko varaston arvoon.

Taulukko 1. *Varastointikustannusten teoreettinen jakautuminen.*

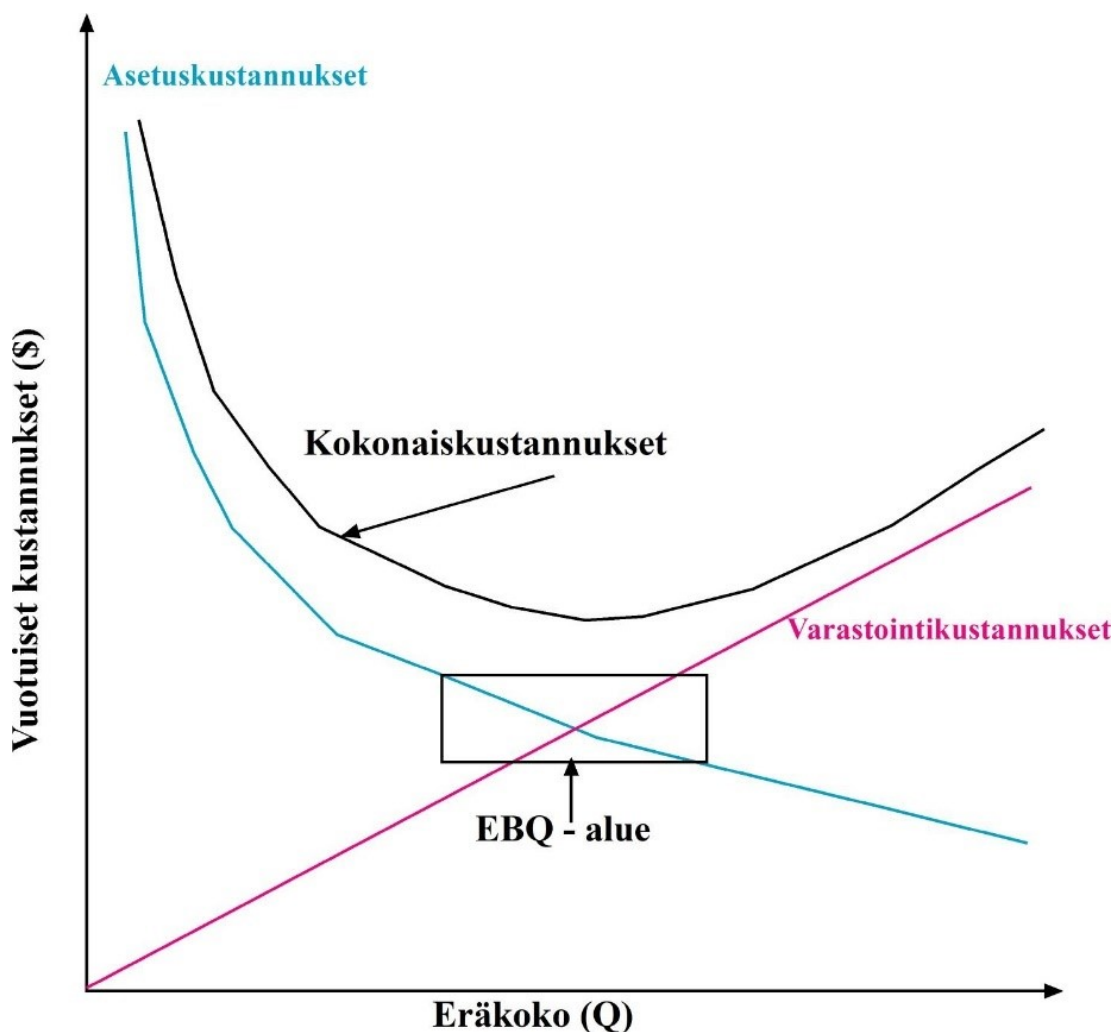
1. Sitoutuneen pääoman korko	10-20 %
2. Tilakustannukset	1-5 %
3. Työvoimakustannukset	1-5 %
4. Hävikkikustannukset	2-5 %
5. <u>Vakuutukset</u>	<u>0,5-1 %</u>
Yhteensä	19,5-36 %

Alaluvussa 2.1.2 eriteltyjä kustannustekijöitä on käytetty tässä työssä varastointikustannusten laskemiseen. Todelliset arvot kustannustekijöille on saatu yrityksen sisäisistä laskelmista.

2.1.3 Valmistuskustannusten muodostuminen

Valmistuskustannusten laskemiseen käytettiin kahta pääluokkaa: sisäiset asetuskustannukset ja sisäiset valmistuksen yksikkökustannukset. Työssä ei huomioida valmistuksen osalta suoria materiaalikustannuksia, koska oletuksena on niiden pysyvän samana tuotantosarjan koosta huolimatta. Myös ulkoiset valmistuskustannukset jätettiin tietoisesti pois laskelmista, koska teimme oletuksen, että ne eivät vaikuta menetelmien keskinäisiin eroihin. Hintojen vakiointi on seurasta oston käyttämisestä vuosisopimuksista. Asetuskustannuksia laskiessa on huomioitu Graafisen teollisuuden toimitusehtojen mukainen 5 % hukan syntyminen laitekohtaisesti [8].

Yrityksen on minimoitava sitoutuneen pääoman kustannusta, vaikka valmistuksen yksikköhinta on suoraan yhteydessä valmistuserän kokoon. Kuvassa 2 on esitetty vuotuisten varastointikustannusten ja asetuskustannusten vaikutus kokonaiskustannuksiin. Valmistuserän kasvaminen lisää varastointikustannuksia, mutta valmistuserän pienentäminen lisää asetuskustannuksia yksikköä kohti. Käyrät esittävät graafisesti optimaalisen eräkoon suuruuden [9].



Kuva 2. Kokonaiskustannusten kuvaaja mukaillen kuvia [9], s. 464, 470-471.

2.1.4 Valmistuskustannusten laskeminen

Oikeiden valmistuskustannusten laskemiseen tarvitaan yrityksen sisällä tehtävää työntutkimusta. Työntutkimuksen tuloksena saadaan työn toteutukseen paras menetelmä ja työn toteutuksen aiheuttamat kustannukset. Työntutkimus käsittää ajankäytön tutkimisen ja työmittauksen. Yhtenä työntutkimuksen virallisena määritelmänä voidaan pitää seuraavaa määritelmää:

"Työntutkimus on ihmisten, materiaalien ja tuotantovälineiden yhteistoiminnan järjestelmällistä tutkimista tarkoituksena löytää paras menettelytapa. Sen päämääränä on lisäksi hyvien työolosuhteiden luominen ja työn suorittamiseksi tarvittavan ajan määrittäminen" [7].

Ajankäyttötutkimuksessa tavoitteena on saada selville työajan jakautuminen tehokkaaseen työaikaan ja aikahävikkiin. Ajankäytön seuranta tehdään seuraamalla työpistekohtaisesti työn valmistukseen käytettyä aikaa ja kirjaamalla muistiin seisokkien

syyt sekä niihin käytetty aika. Aikahävikkiin lasketaan kaikki se aika, jolloin tutkimuskohteena oleva työpiste ei tee valmistavaa tuotantoa [7]. Aikahävikkeistä osa on vaikeasti ennakoitavissa ja satunnaisia. Nämä ovat yleensä aitoja virhetilanteita, kuten materiaalien loppuminen tai ylimääräinen siirtely, koneeseen tulevat häiriöt tai muut ennakoimattomat häiriöt. Tuotannollista aikahävikkiä ovat myös laitteiden kuntoonlaitot. Ne pystytään ennakoimaan tuotannon suunnittelussa sekä ohjauksessa käyttämällä esimerkiksi koneraportteja apuna. Kuntoonlaittoihin käytetty aika pystytään määrittämään tarkasti ajopäiväkirjoista ja raporteista.

Ajankäytön ja työvaiheiden mittaukseen voidaan käyttää seuraavia menetelmiä [7]:

1. Kelloaikatutkimus: päiväkirjatyyppisesti kerätään ajankäyttö
2. Havainnointitutkimus: jakamalla työaika eri aikalajeihin
3. Haastattelu: haastatellaan työpisteen henkilöitä
4. Vertailu: vertailu standardiin tai vastaavaan työpisteeseen
5. Aikalaskelmat: automaattikoneiden työnkiertoon kulunut aika
6. Laskelmat: poimimalla eri työvaiheisiin kulunut aika yhteen

Parhaan tuloksen antaa seuranta, jossa hyödynnetään kaikki mainittuja menetelmiä.

2.1.5 Valmistuskustannusten yksilöinti

Valmistuksen sisäisten kustannusten kustannuskäsitteet jakautuvat kiinteiden ja muuttuvien kustannuksien käyttötekijöihin. Näiden käyttötekijöiden saadessa kustannusarvot ne muodostavat kustannustekijät, joita ovat tuotannontekijät, materiaalit, työn osuus, koneet ja laitteet jne. Muuttuvat ja kiinteät kustannukset jaetaan tuotannontekijöihin, tuotannontekijäin vaikutusalueeseen, sopeuttamisen asteeseen ja kustannuksiin. Kiinteisiin kustannuksiin kohdistetaan potentiaaliset tekijät, kapasiteetti ja kokonaissopeutus. Muuttuviin kustannuksiin kohdistetaan käyttötekijät, toimintasuhde ja osittainen sopeutus. Valmistuskustannusten selvittämisessä operoidaan tuotteen valmistuksen kustannuksilla. Kustannukset saadaan kertomalla tuotantotoiminnassa käytettävät tuotannontekijät yksikkökustannuksella. [9]

Selvitettäessä valmistuksen muuttuvia kustannuksia keskitytään toiminta-asteen vaikutuksen alaisiin kustannuksiin. Muuttuvat kustannukset sisältävät raaka-aineiden kustannukset, valmistukseen tarvittavan työn palkkakustannukset ja kustannukset, jotka kohdistuvat suoraan tuotteen valmistamiseen. Kiinteät kustannukset eivät ole riippuvaisia toiminta-asteesta. Ne ovat kustannuksia, jotka pysyvät samana, eli kiinteinä toiminta-asteesta riippumatta. Kiinteitä kustannuksia ovat esimerkiksi hallinnon kustannukset ja kiinteistöön liittyvät kustannukset. [9]

Muuttuvat ja kiinteät kustannukset jaetaan vielä välillisiin sekä välittömiin kustannuksiin. Välittömät kustannukset ovat yleensä muuttuvia, koska ne kohdistetaan suoraan tutkimuskohteena olevan tuotteen valmistamiseen. Välillisiä kustannuksia ei voida suoraan liittää tuotteen valmistukseen. Työntutkimusta tehdessä kustannukset voidaan jakaa myös erillis- ja yhteiskustannuksiin. Erilliskustannuksilla on selkeä syy-yhteys tutkittavan tuotteen valmistamiseen. Yhteiskustannukset ovat luonteeltaan samanlaisia kuin kiinteät ja välilliset kustannukset [9].

Valmistuskustannusten jaottelu ja erittely antaa pohjan työntutkimukselle, jossa halutaan saada kustannusarvo käytetylle ajalle sekä tuotteen valmistamiselle. Muuttuvat ja kiinteät yksikkökustannukset saadaan jakamalla kummankin kustannuslajin arvo suoritemäärällä. Tässä diplomityössä on eritelty asetuskustannukset sisäisiksi kiinteiksi kustannuksiksi. Perusteena on asetuskustannusten riippumattomuus valmistusmäärästä. Varsinaisen valmistusajon kustannus on luokiteltu muuttuvaksi kustannukseksi, koska tutkinnan kohteena oleva kappalemäärän muutos vaikuttaa valmistuksen kokonaiskustannuksiin.

2.2 Jalostusketjun kuvaus

Jalostusketjun kuvausta käytetään yleisesti tuotantoprosessien parantamiseen. Tällöin jalostusketju kuvataan yhdelle lomakkeelle tai taululle prosessin kaikki vaiheet, prosessivaiheiden ketjuuntuminen työaikoihin ja materiaalien kulutuksineen [11].

Jalostusketjun kuvauksen avulla pystytään määrittämään yhden tuotteen valmistukseen kuluva aika työvaiheittain sekä kustannus tutkimalla tuotantoketjun läpimeno- ja asetusaikoja. Yhden tuotteen valmistukseen käytetty läpimenoaika saadaan laskemalla yhteen kaikki jalostusketjun kuvauksen eri osavaiheet [17]. Käytännössä esimerkiksi painokoneella, jossa kierrosnopeus on noin 10.000 kierr/h, yhden pelinosan valmistamiseen menee sekunnin murto-osia. Kun nämä sekunnin murto-osat lisätään muiden koneiden vastaaviin valmistusaikoihin, saadaan kyseisen pelinosan valmistuksen yhteisaika.

Kohdeyrityksen jalostusketjun kuvaus käsittää tuotannon osalta seuraavat työvaiheet:

- repro, eli sivunvalmistus
- paino, eli kaikkien pelienosien painaminen
- jälkikäsittely, eli pelienosien tuottaminen valmiiksi
- leikkurit
- kaseeraus, eli ylivetopaperien laminointi pahviosaan
- stanssaus, eli pahviosien ja kotelopahvien muotoon leikkaaminen
- korttileikkurit, pelin korttien leikkaaminen ja pakkojen kelmutus

Kuvassa 3 on esitetty "Alias-ryhmän" jalostusketjun kuvaus.

Alias-ryhmä:

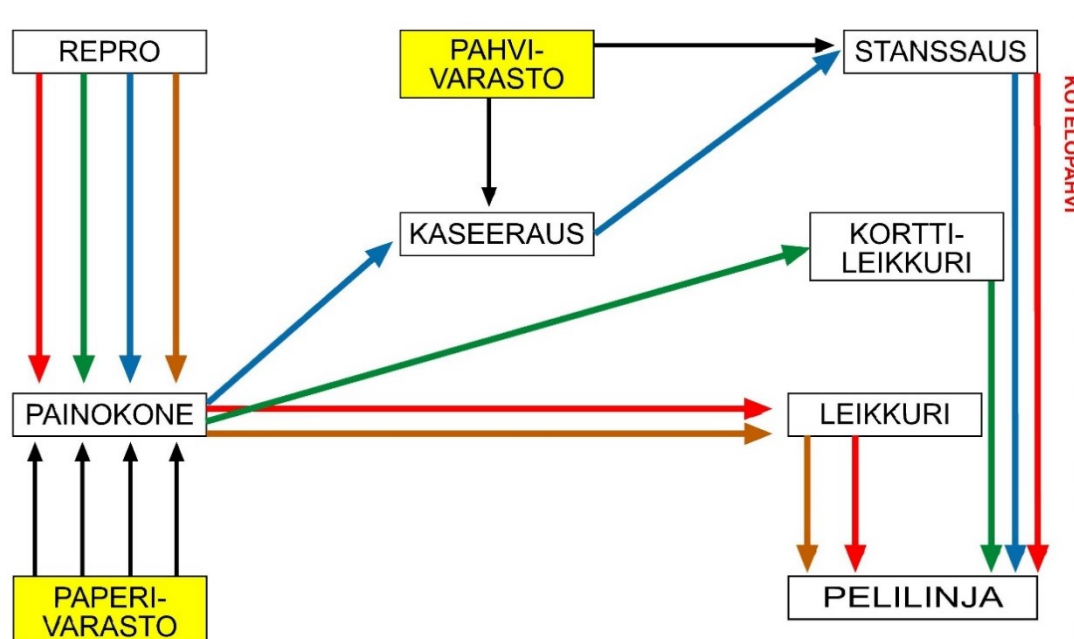
1 = kotelo

2 = kortit

3 = pelilauta

4 = säännöt

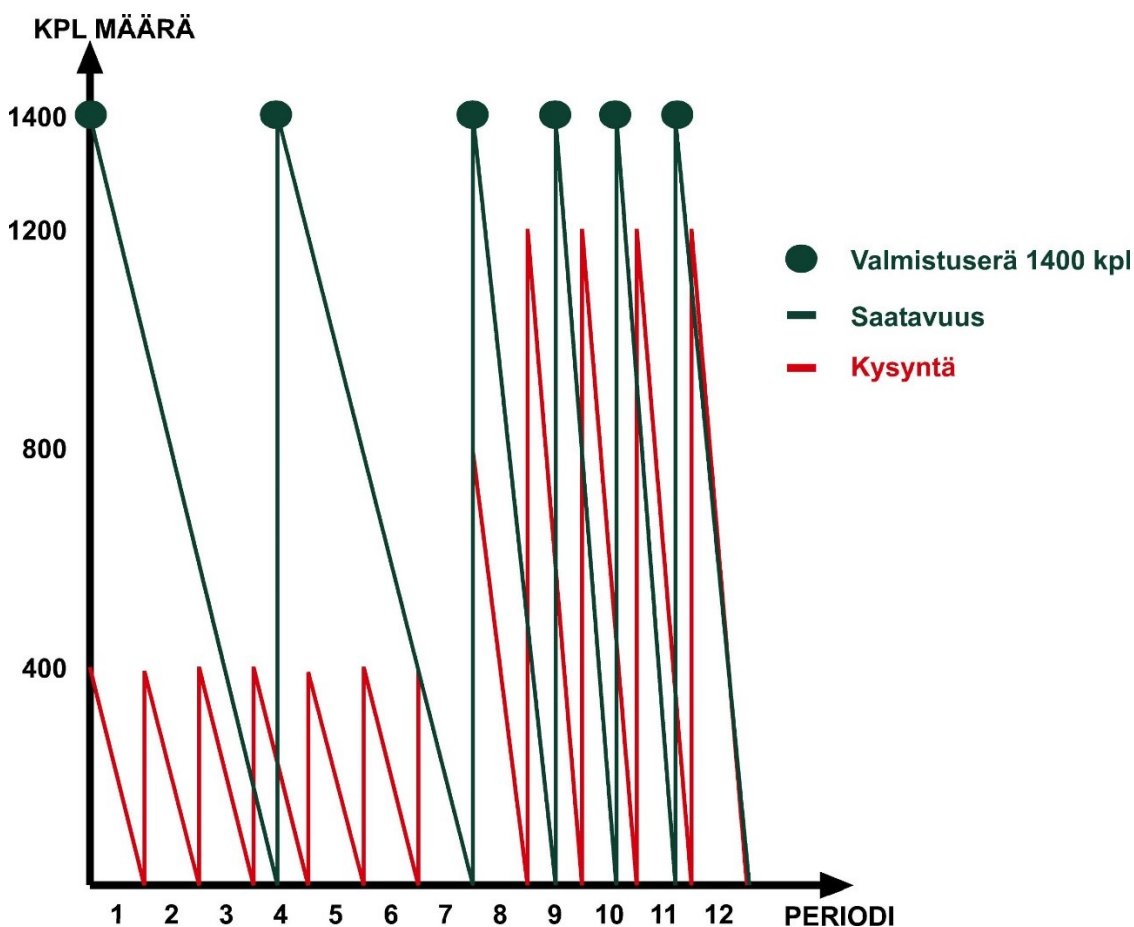
M = materiaali



Kuva 3. Jalostusketjun kuvaus mukaillen Lean Management- teoriaa [11].

2.3 EBQ taloudellisen eräkoon optimointimenetelmä

Taloudellisen eräkoon laskentamallia, Economic Order Quantity (EOQ), kutsutaan myös Wilsonin malliksi. Sen avulla voidaan laskea optimaalinen tilauserän koko. EOQ-malli keskittyy optimaalisen tilausmäärän laskemiseen. Valmistustoimintaa palvelee paremmin EBQ-malli, joka perustuu samaan kaavaan ja sen oletukset ovat samat. Vaikka malli on kehitetty vuonna 1913, se on vieläkin tuotannonsuunnittelun käytetyimpiä työkaluja. Mallin on kehittänyt F.W. Harris, mutta se tuli tutuksi liiketoimintakonsultti R.H. Wilsonin tutkimuksesta Harvard Business Review-lehdessä vuonna 1934. [7]



Kuva 4. Esimerkki EBQ:n avulla toteutetusta saatavuudesta.

EBQ-kaava antaa tulokseksi eräkoon, joka on varastointikustannusten ja tilauskustannusten välinen kompromissikohta. Se on siis kokonaiskustannuksissa kustannusten minimikohta. Tuotannon valmistuserää laskettaessa tilauskustannukset muutetaan sisäisiksi asetuskustannuksiksi [7].

EBQ-kaavalla laskettaessa on tehtävä seuraavat oletukset [11]:

- kysyntä on vakio ja ajasta riippumaton
- toimituksen läpimenoaika on vakio
- varastointikustannus perustuu keskimääräiseen varaston arvoon
- tilauksen käsittelykustannus on vakio
- tuotteet ovat toisistaan riippumattomia

Wilsonin kaavaa on kritisoitu edellä mainittujen oletusten takia. *EBQ:n* laskentakaava antaa kuitenkin riittävän tarkan keskiarvon valmistuserälle. Kaava esitetään muodossa

$$EBQ = \frac{\sqrt{2 * S * D}}{H} . \quad (1)$$

Esitetyssä kaavassa *EBQ* on optimaalinen valmistuserän koko, *S* on asetuskustannus erää kohden, *D* on kysyntä koko vuodelta ja *H* on vuotuinen varastointikustannus [7].

EBQ-alue

Kritiikistä huolimatta EBQ-kaavan käytössä on myös positiivia ominaisuuksia. Ensinnäkin sitä on helppo ja nopea käyttää eikä sen käyttäminen edellytä erillisen optimointiohjelman hankkimista. Toinen vahvuus on aiemmin esitetyssä kuvassa 2 näkyvän optimaalisen alueen leveys. Kokonaiskustannusten käyrä tekee loivan kaarroksen ylöspäin. Tällöin lähellä EBQ-aluetta olevat eräkoot ovat edelleen kokonaiskustannuksiltaan lähellä minimikohtaa [11].

EBQ:n parannukset

EBQ-kaavan yksinkertaistaminen on oletettavasti johtanut kaavan kritisoinnin lisäksi myös uusien parempien kaavojen etsimiseen. Parannukset keskittyvät kaavan epärealististen oletusten korvaamiseen. Kaavaa on pyritty parantamaan lisäämällä siihen muuttujia, jotka kompensoivat näitä oletamuksia.

EBQ:n laskeminen edellyttää optimaalisen laadun tuottamista, mikä on täysin epärealistista [13]. Laatuvirheet ovat otettu myöhemmin mukaan tuotantoerien laskennassa. Laatuvirheet määritetään seurannan avulla saaduilla virheprosentteilla. Laatuvirheitä muutettaessa kustannuksiksi huomioidaan myös uudelleen valmistuksen kustannukset [20, s. 77-89]. Optimaalinen valmistuserän koko saadaan yhtälöstä

$$EBQ = \frac{\sqrt{2 * S * D}}{H} * E * \left[\frac{1}{(1-y)} \right] \quad (2)$$

jossa *E* on optimaalisen laadun osuus koko valmistuserästä kappaleina ja *y* on viallisten tuotteiden osuus koko valmistuserästä kappaleina. Nämä muuttujat perustuvat arvioon.

2.4 Dynaaminen eräkoon mallinnus

Edellä mainitut *EBQ:n* oletukset ovat johtaneet uusien optimaalisen eräkoon laskentamallien syntymiseen. Ajasta riippuva kysyntä heikentää EBQ-menetelmän tarkkuutta [12]. Perustana dynaamisen eräkoon mallinnukselle pidetään Harvey M. Wagnerin ja Thompson M. Whitin vuonna 1958 esittelemää eräkoon laskentamallia, joka ottaa huomioon kysynnän vaihtelun [14][15]. Malli on nimetty Wagner-Whitin algoritmiksi. Dynaamisen eräkoon mallinnuksen tavoitteena on saada valmistus- ja varastointikustannuksille yhteinen minimikohta.

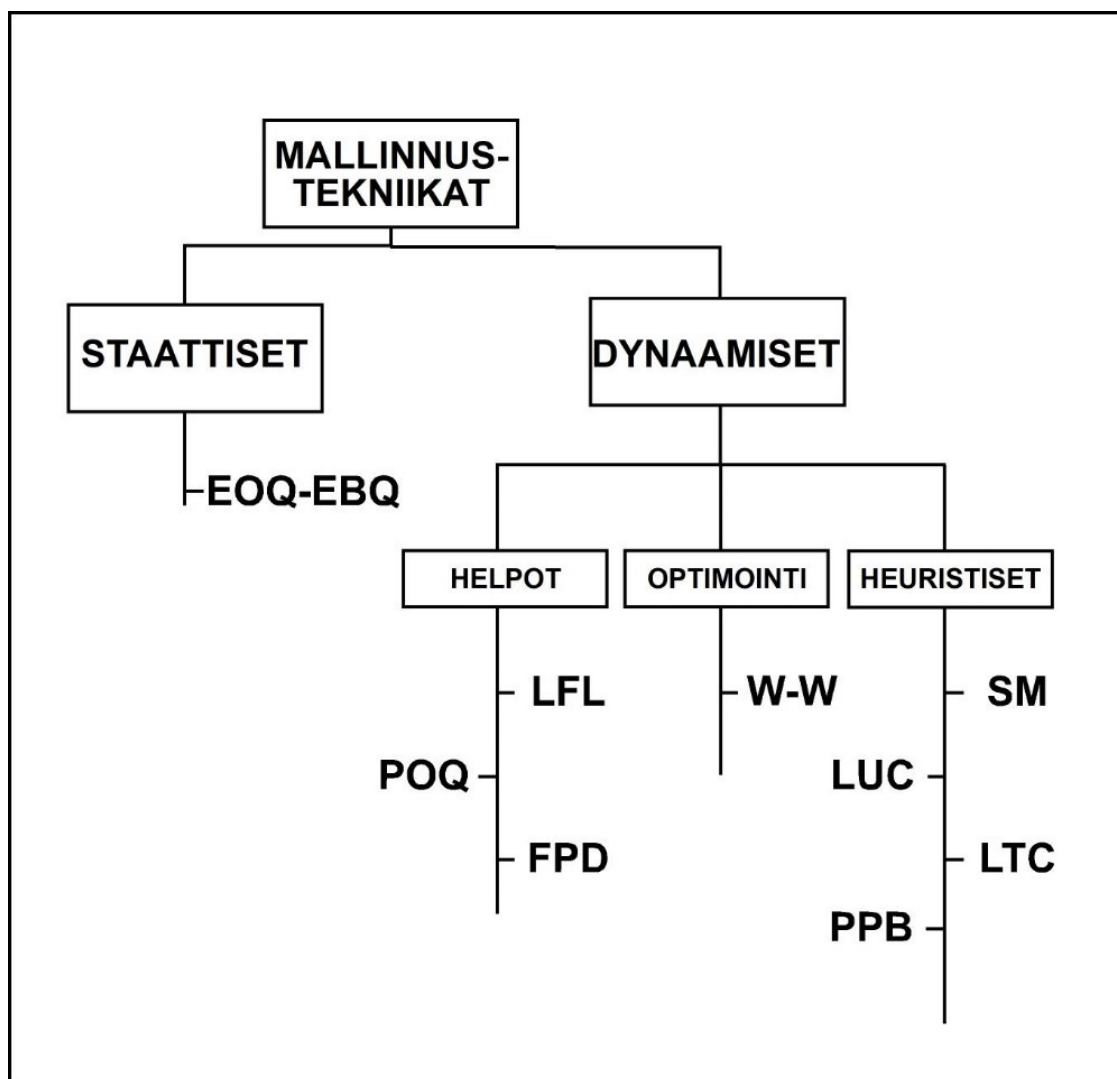
Heuristiset mallit

Heuristiset mallit perustuvat vertailun avulla tapahtuvaan riittävän hyvän ratkaisun löytämiseen. Tietotekniikan kehitys mahdollisti useiden ratkaisumallien vertailemisen ja parhaan ratkaisun löytämisen samanaikaisesti. Tietotekniikan avulla vertailevat toiminnot pystytään suorittamaan hyvin nopeasti [16].

Yhden tuotteen eräkoon ongelma (USILP) toimii pohjana laskettavien eräkokojen määrittämisessä. Nydickin ja Weissin tutkimuksessa [17] esitetään, miten perinteiset tekniikat EBQ ja LFL toimivat heikommin kuin heuristinen SM sekä muut heuristiset menetelmät. Heurististen menetelmien tarkkuuksissa on eroja erilaisissa toteutusympäristöissä. On tärkeää löytää oikea menetelmä tutkittavaan kohdeympäristöön.

Valitut mallit epätasaiseen kysyntään

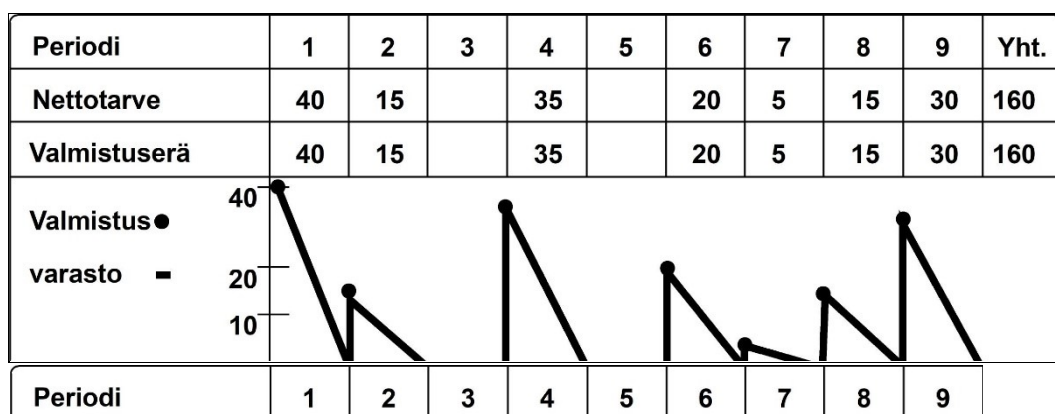
Testikäyttöä varten valittiin seitsemän menetelmää, jotka soveltuvat ajasta riippuvan epätasaisen kysynnän eräkoon laskemiseksi. Nämä menetelmät ovat: LFL, LUT, LTC, POQ, FPD, W-W ja SM. Lisäksi kahdeksanneksi vertailulaskelman menetelmäksi löytyi PPB, joka on POQ:n johdannainen. Näiden menetelmien toimintaa verrattiin myös huomioiden niiden helppokäyttöisyyden taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Kuvassa 5 vertailussa olevat menetelmät ovat jaoteltu toimintaperiaatteidensa mukaisesti.



Kuva 5. Eräkoon määrittämisessä käytettäviä malleja jaoteltuna tyypin mukaan. Kuva mukailee ”perencanaan-kebutuhan-bahan” web-sivuilta [19] haettua mallikuvaa.

2.4.1 Lot For Lot

Lot For Lot on dynaaminen eräkoon laskentamalli. Malli toteutetaan valmistamalla tilauksen tai budjetin mukainen tarve. Varastoa ei ole, varastointikustannuksia ei ole eikä riskiä hävikin osalta varastoinnissa. Malli on tehokas, kun asetuskustannukset eivät ole suuria [18]. Mallissa huomioidaan erän valmistusaika. Valmistusajan mukaisesti erän valmistus aloitetaan tarvittavan ajoissa, jotta erä vastaa kysynnän aikatauluun. Kuvassa 6 on yksinkertainen esimerkki Lot For Lot-mallin toiminnasta. Kuva on haettu oppimateriaalin esimerkkitapauksesta. Kuva osoittaa, että varastointia ei tapahdu yli periodien ja etukäteen ei valmisteta varmuusvarastoja.



Kuva 6. Esimerkki LFL- menetelmästä.

LFL-tekniikkaa kutsutaan diskreettiseksi tilauskannaksi. Siinä tavoitellaan valmistuserien kattavan nettovaatimukset eli suunniteltu valmistus vastaa aina nettovaatimusten määrää. Valmistuserien koot ovat muutettava aina, kun vastaava nettovaatimus muuttuu. LFL-tekniikka soveltuu valmistuseriin, jotka sisältävät kalliita osto-osia ja edellyttävät suuren rahamäärän sitoutumista [21].

2.4.2 Least Unit Cost

Least Unit Cost on dynaaminen eräkoon mallinnustekniikka, joka valitsee erän koon pienimmällä yksikkökustannuksella. LUC-menetelmä luokitellaan heuristiseksi menetelmäksi [19]. Menetelmässä lasketaan varastointi- ja asetuskustannukset tarveperiodien yhdistelmille keräämällä periodien kustannukset yhteen. Saatu yhteiskustannus jaetaan periodien yhdistelmän vaatiman valmistuserän kappalemäärällä [21].

Laskenta aloitetaan ensimmäisestä periodista, jolle lasketaan tarpeen mukaisen valmistuserän varastointi- ja asetuskustannukset. Ensimmäisellä periodilla varastointikustannukset lähestyvät nollakustannuksia. Seuraavaan yhdistelmään lasketaan periodien 1 ja 2 vaatiman tarpeen mukaiselle valmistuserälle yksikkökustannus. Vertailulaskelmaa jatketaan niin kauan, kunnes yksikkökustannus on saavuttanut minimiarvonsa ja taulukko antaa edellistä yksikkökustannusta suuremman arvon. Edullisimman yksikkökustannuksen antanut periodien yhdistelmä valitaan tuotantoeräksi.

Seuraavan periodiyhdistelmien ensimmäiseksi laskentaperiodiksi otetaan periodi, jonka kohdalla yksikkökustannus ei enää pienentynyt, vaan oli suurempi. Menetelmää jatketaan, kunnes kaikki kohdeperiodit ovat päässeet tuotantolistalle. Least Unit Cost-

menetelmä laskee ja tekee ehdotuksen sille, kuinka monessa erässä valmistus tapahtuu sekä kuinka monta periodia yhdistetään, jotta kaikkien periodien tarve katetaan [21].

LUC- menetelmä keskittyy vain varastointi- ja asetuskustannusten huomioimiseen. Liitteessä 3 on malliesimerkki LUC:n käyttämisestä taulukkolaskennan toteutusympäristössä ja kaava 3 esittää yksikkökustannusten laskentakaavan. Taulukon alimmainen osa osoittaa ensimmäisen valmistuserän kerääntymisen.

Budjetin mukaisten periodien tarveyhdistelmien eräkoolle lasketaan yksikköhinta, joka sisältää varastointi- ja asetuskustannukset. Keltainen tehosteväri osoittaa valmistuserän kerääntymisen.

Yhtälöstä

$$k = \frac{A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (t-1)HD_t}{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_t} \quad (3)$$

saadaan laskettua periodeittain yksikköhinnan keskiarvo. Yhtälön kaava sisältää seuraavat säännöt [21]:

Valmistuserän keräämisen keskeyttävä sääntö: $k(t+1) > k$.

Valmistuserä t - periodista alkaen: $Q_i = D_1 + D_2 + \dots + D_t$.

Jatkuu periodista $(t+1)$: $Q_{(t+1)}$.

Yhtälössä k on yksikköhinnan keskiarvo laskettavien periodien osalta, t on laskennassa olevien periodien lukumäärä, A on asetuskustannukset, H on varastointikustannukset ja D on kysyntä periodeittain.

2.4.3 Least Total Cost

Least Total Cost on dynaaminen mallinnustekniikka, jossa laskemalla etsitään tilausmäärä, jolloin valmistus- ja varastointikustannukset ovat lähimpänä toisiaan. Mallin tavoite on löytää valmistuserän koko, jossa valmistus- ja varastointikustannukset ovat yhtä suuret. Mallin oletuksena on, että vähiten kokonaiskustannuksia syntyy, kun kertyneet varastointikustannukset vastaavat asetuskustannuksia [21].

Menetelmän käyttäminen toimii vertailun osalta samalla periaatteella kuin LUC- malli. Periodien yhdistelmiä verrataan toisiinsa, kunnes löytyy periodiyhdistelmä, jossa varastointi- sekä asetuskustannusten ero lähtee nousemaan. Pienin arvo, eli pienin kustannusero valitaan rajaamaan valmistuserän koko. Seuraava laskentakierros aloitetaan periodista, jossa kustannukset alkoivat nousemaan. Liitteessä 4 on malliesimerkki LTC:n käyttämisestä taulukkolaskennan toteutusympäristössä ja kaava 4

esittää vertailuarvon laskentakaavan. Liitteen 4 keltainen tehosteväri osoittaa ensimmäisen valmistuserän kerääntymisen. Budjetin mukaisten periodien tarveyhdistelmien eräkoolle lasketaan kompleksiluvun avulla vertailuarvo, joka vertaa varastointi- sekä asetuskustannuksia.

Laskettaessa asetus- ja varastointikustannusten eroa käytetään yhtälöä

$$c = A - (HD_1 + HD_2 + \dots + HD_t), \quad (4)$$

jossa c on asetus- ja varastointikustannusten ero laskettavien periodien osalta, t on laskennassa olevien periodien lukumäärä, A on asetuskustannukset, H on varastointikustannukset ja D on kysyntä.

2.4.4 Period Order Quantity

Period order Quantity-malli on dynaaminen ja hyvin yksinkertainen mallinnustekniikka. Sen tarkoituksena on minimoida varastointia ja pienentää varastointikustannuksia. Malli toimii parhaiten kysynnän ollessa epätarkka, esimerkiksi budjetteihin perustuva [20]. Mallin käyttö perustuu $EBQ:n$ selvittämiseen. Tämän jälkeen lasketaan asetettavien valmistuserien lukumäärä vuodessa sekä tarvittavat eräkoot. Tämä tapahtuu kaksivaiheisesti jakamalla ensin vuotuinen kysyntä $EBQ:lla$, jolloin saadaan valmistuserien lukumäärä. Tämän jälkeen budjettikauden periodien lukumäärä jaetaan saadulla valmistuserien lukumäärällä, näin saadaan valmistuserien tilausväli. [20].

Period Order Quantity- mallin oletuksena on, että $EBQ: n$ avulla määritetty valmistuserän koko ja valmistuserien ajankohdat vastaavat budjetteja. Se on säännöllinen mallinnusjärjestelmä, jossa valmistuserien välinen aikaväli saadaan laskemalla $EBQ:n$ avulla ja aikaväli pidetään vakiona. Valmistuserän koko on muuttuva kysynnän ja budjettien mukaisesti [21]. Valmistuserien lukumäärä lasketaan yhtälön

$$t = \frac{D}{EBQ} \quad (5)$$

avulla, jossa D on vuosittainen kysyntä, EBQ on optimaalinen eräkkö ja t on valmistuserien lukumäärä.

2.4.5 Part Period Balancing

Part Period Balancing-malli on dynaaminen eräkoon mallinnustekniikka. PPB:n tavoitteena on tasapainottaa ja minimoida asetus- ja varastointikustannuksia määrittämällä *EPP*-tekijän. *EPP* lasketaan jakamalla kumulatiivisesti kerääntyvät asetuskustannukset kumulatiivisesti lisääntyvillä varastointikustannuksilla. [18]

Yksi osaperiodi tarkoittaa tarveperiodien yhdistelmää, jolle lasketaan yhden osaperiodin ajalle varastoon jäävien tuotteiden varastoinnin yksikkökustannukset. Taloudellinen osaperiodi (*EPP*) on vertailuluku kerääntyneiden asetuskustannusten ja varastoinnin yksikkökustannusten välillä, eli $EPP = \text{asetuskustannukset} / \text{varastoinnin yksikkökustannukset}$. PPB käyttää samaa logiikkaa kuin aiemmin esitelty Least Total Cost-menetelmä. Siksi PPB:n antamat tulokset ovat samaa luokkaa LTC:n tulosten kanssa [19].

PPB -menetelmän käyttö aloitetaan laskemalla asetuskustannukset ja varastoinnin yksikkökustannukset. Tämän jälkeen periodi kerrallaan lasketaan ensimmäiselle valmistuserälle, jossa asetuskustannus on huomioitu kertaalleen, varastoon jäävien tuotteiden kustannus. Ensimmäisen periodin tuotteiden varastointikustannus on nolla. Kysynnän mukaan menetelmä laskee periodi kerrallaan varastointikustannuksen, kunnes saavutetaan piste, jossa varastointikustannus on lähimpänä asetuskustannuksia ja ero alkaa kasvamaan. Periodi t , jonka kohdalla varastointikustannukset ovat lähimpänä asetuskustannuksia, valitaan ensimmäisen valmistuserän viimeiseksi periodiksi. Tässä pisteessä kaavojen 6-7 mukaisesti *EPP*-tekijä lähestyy arvoa 1. Ensimmäisen valmistuserän määrä käsittää kysynnät periodeilta 1- t [22].

PPB-tekniikka on monipuolisempi menetelmä kuin LTC. PPB:n lisäominaisuutena on sen hyvä sopeutumiskyky heuristiseen simulointiin. Tämä tarkoittaa mahdollisuutta käyttää "look-forward" / "look-back"-ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet, eli rakenteet, säättävät valmistusaikataulua vierittämällä tietyn periodin kysynnän seuraavaan periodiin tai kysynnän pois nollausta ennen seuraavan valmistuserän koon määrittystä. PPB-tekniikan käyttäminen soveltuu näin minimoimaan pitkäaikaiset varastot tilanteessa, jossa kysyntä on alhainen tietyn aikavälin aikana [19].

Part Period Balance lasketaan yhtälöiden

$$PP(t) = D_2 + 2D_3 + \dots + (t-1)D_t \quad (6)$$

$$EPP = \frac{A}{H} \quad (7)$$

avulla [22]. Yhtälöissä D on kysyntä periodeittain, A on asetuskustannukset ja H on varastoinnin yksikkökustannukset. Yhtälöt sisältävät seuraavat säännöt:

Valmistuserän keräämisen keskeyttävä sääntö: $PP(t+1) > EPP$

Valmistuserä t - periodista alkaen: $Q_i = D_1 + D_2 + \dots + D_t$

Jatkuu periodista $(t+1)$: $Q_{(t+1)}$

2.4.6 Fixed Period Demand

Fixed Period Demand-metodi on dynaaminen mallinnustekniikka, joka soveltaa etukäteen annettuja kysyntäperiodeja. FPD -metodi on yksinkertainen keino vertailla vaihtoehtoisten valmistuserien kannattavuutta [19]. Metodissa käytetään kysynnän (D) eri variaatioita periodien kysynnän mukaan. Eri määrä kysyntäperiodeja yhdistetään keskenään ja näille vaihtoehdoille lasketaan kyseisen valmistuserän kustannukset. Metodissa käytettävää muuttujaa t saa arvot alkaen kahdesta ja teoriassa päättyen kysyntäperiodien lukumäärään, eli lausekkeen

$$2 \leq t_p \leq t \quad (8)$$

mukaisesti, jossa t_p on yhdistettävien periodien lukumäärä ja t on kysyntäperiodien lukumäärä. Huomattakoon, jos t_p saa arvon 1, vastaa metodi Lot For Lot-menetelmää. Muuttuja t vastaa yhdistettävien periodien lukumäärää. Muuttuja t pysyy vakiona yhden vertailulaskelmakierroksen aikana ja saa uuden arvon seuraavassa vertailussa. Vertailtaessa kustannuksia parhaan lopputuloksen antanut t valitaan valmistuserien yhdistämisen muuttujaksi. Liitteessä 5 on esimerkki FPD:n toiminnasta taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Väripohjan vaihtuminen osoittaa valmistuserien kerääntymisen. Liitteen esimerkissä on käytetty $t:n$ arvoa 2.

FPD- menetelmää kutsutaan myös Fixed Time Metodiksi, koska käytännössä periodien lukumäärän vertailu tarkoittaa eri pituisten ajanjaksojen vertailua. Ajanjaksot koostuvat budjettien periodien yhdistelmistä [21].

2.4.7 Wagner-Whitin menetelmä

Wagner-Whitin on heuristinen optimointiprosessi dynaamisen tarpeen kattamiseksi ja optimaalisten valmistuserien löytämiseksi. W-W vertailee ja arvioi kaikki valmistuserien toteutus mahdollisuudet, jotka vastaavat kysyntään oikea-aikaisesti [22].

Wagner-Whitin algoritmi vertailee eri vaihtoehtoja periodien yhdistämiselle ja pyrkii minimoimaan valmistuserän aiheuttamat kustannukset. Laskettaessa kokonaiskysyntää vertailtavien periodien välillä käytetään yhtälöä

$$N = A + H \left[\sum_{j=tj+1}^{ti} (j - t) D_j \right], \quad (9)$$

jossa N on kokonaiskysyntä periodien ti ja tj välillä, A on asetuskustannukset, H on varastoinnin yksikkökustannukset, D on kysyntä periodilla j , ti on laskennan aloittava periodi ja tj on periodi, johon laskenta päättyy.

WW- algoritmia toteutetaan useissa eri ohjelmaympäristöissä ja sen käyttämiselle löytyy valmiita koodeja. Se soveltuu erinomaisesti myös taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Toteutettaessa W-W-metodia taulukkolaskennassa laskenta perustuu asetuskustannusten ja varastointikustannusten tasapainottamiseen. W-W soveltuu epätasaiseen kysyntään vastaamiseen. Se toimii dynaamisessa kysyntätilanteessa huomattavasti esimerkiksi EBQ- menetelmää paremmin [23].

Wagner-Whitin-metodi sisältää seuraavat oletukset:

1. Verrataan yksi tuote kerrallaan.
2. Valmistuksen yksikkökustannukset ovat vakiot.
3. Varaston loppuminen on kielletty, eikä myöhästymisakkoja.
4. Tarvittava kapasiteetti on käytössä.
5. Valmistuserän toimitusaika on vakio.

Kapil Vaishin artikkelissa "Excel Modeling for Wagner-Whitin algorithm" esitetään WW-algoritmin toiminta taulukkolaskennan toteutusympäristössä käyttämällä yhtälöitä 10,11 ja 12. Yhtälöissä S_t on asetuskustannus periodilla t , I_t on varastointikustannukset periodilla t , D on kysyntä periodilla t , X_t on valmistuserän koko periodilla t , Y_t on näennäismuuttuja, joka on 1, jos $X_t > 0$ (muuten 0), M on muuttuja, joka kuvaa periodien lukumäärän lähestymistä ääretöntä, E_t on varastosaldo, joka siirretään seuraavaan periodiin ja P on valmistuksen yksikkökustannus.

Kokonaiskustannusten minimointi WW-metodilla taulukkolaskennan toteutusympäristössä tehdään yhtälöiden

$$\sum_{t=1}^n P X_t, \quad \text{Tuotannon kokonaiskustannukset} \quad (10)$$

$$\sum_{z=1}^n I_z E_t, \quad \text{Varastoinnin kokonaiskustannukset} \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^n Y_t S_t, \quad \text{Asetuskustannukset yhteensä} \quad (12)$$

avulla. Kaavat 10-11 sisältävät seuraavat rajoitteet [23]:

1. Jos tuotantoa ei valmisteta periodin aikana, asetuskustannuksia ei ole.
2. Valmistuserän koon oltava suurempi kuin nolla.
3. Varaston saatavuus on taattava joka hetki.
4. Metodissa käytetään kokonaislukuja.
5. Näennäismuuttujan on oltava binääriluku.

Wagner-Whitin metodin vertailutaulukko muistuttaa yläkolmiomatriisia. WW-menetelmä vertaa asetuskustannusten ja varastointikustannusten kokonaismäärää kaikille eri valmistuserävaihtoehdoille. Näitä vaihtoehtoja kutsutaan poluiksi, joiden optimaalisuutta W-W-metodi vertailee [24]. Liite 6 esittää W-W-metodin toiminnan taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Jokaisen sarakkeen alimmainen luku ilmoittaa edellisen sarakkeen vaihtoehtojen eli polkujen minimikustannuksen. Kun tämä minimikustannus on pienempi kuin vertailussa olevan rivin kustannuskertymä samassa sarakkeessa, katkaistaan kyseisen valmistuserän koonti ja aloitetaan seuraavan valmistuserän kokoaminen samalla tavalla. Uuden valmistuserän kohdalla vertaillaan riviä, joka keskeytti edellisen valmistuserän kokoamisen.

Esimerkki tätä työtä varten rakennetusta W-W-menetelmästä taulukkolaskennan toteutusympäristössä löytyy liitteestä 6. Keltaisella väripohjilla osoitettu valmistuserien kerääntyminen ja sinisen sekä punaisen lokeron vertailu pysäyttää keräämisen [24].

2.4.8 Silver-Meal method

Silver-Meal metodi on heuristinen menetelmä dynaamisen kysynnän ympäristöön. SM-metodi pyrkii pääsemään edullisimpaan ratkaisuun, vaikka tämä ratkaisu ei välttämättä ole optimaalisin. Tavoitteena on saavuttaa pienimmät keskimääräiset kustannukset periodia kohti kaudella, joka käsittää t määrän periodeja. Keskimääräiset kustannukset sisältävät asetus- ja varastointikustannukset [22].

Silver-Meal-metodissa lasketaan keskimääräiset yksikkökustannukset yhtälön

$$k = \frac{1}{t} (A + HD_2 + \dots + tHD_{t-1}) \quad (13)$$

avulla [22]. Yhtälössä t on periodien lukumäärä, A on asetuskustannukset, H on varastoinnin yksikkökustannukset periodin aikana ja k on yksikkökustannuksen keskiarvo laskettavien periodien osalta

Kaavan 13 avulla lasketaan k , eli keskimääräiset kustannukset. Muuttuja m kuvaa periodien lukumäärää. Kaavaa toteutettaessa keskimääräisiä periodikustannuksia seurataan ja oletuksena on näiden kustannusten pieneneminen aluksi. Vertailu pysäytetään tilanteessa, jossa keskimääräiset periodikustannukset nousevat edelliseen lukemaan verrattuna [22]. Tällöin on saavutettu valmistuserään kohdistettavat periodit. Sama toistetaan niin monta kertaa, että kaikki periodit ovat käsitelty.

SM-menetelmän toiminta muistuttaa hyvin paljon LUC -menetelmän käyttäytymistä. SM:n parempana ominaisuutena LUC:n verrattuna on kustannusperusteisen suhdeluvun käyttäminen k . Suhdeluvun käyttäminen auttaa ehkäisemään häiriöiden ilmaantumista suunnitteluvaiheessa ja antaa luotettavamman arvon ratkaisuksi [14].

Taulukkolaskennan toteutusympäristössä kaava toimii yksinkertaisesti. Annetut periodien kysynät käydään rivi kerrallaan läpi. Suhdelukua k seurataan ja sen avulla katkaistaan valmistuserän kokoaminen.

Esimerkki tätä työtä varten rakennetusta SM- menetelmästä taulukkolaskennan toteutusympäristössä löytyy liitteestä 7. Keltaisilla väripohjilla osoitettu valmistuserien kerääntyminen [24].

3. TUOTANNON SUUNNITTELUN NUMEERINEN SIMULOINTI

Simulointityökalun valmistamisessa käytettiin luvussa 2 esiteltyä teoria-aineistoa. Kohdeyrityksen tilastotiedot otettiin yrityksen sisäisistä raporteista. Käyttökokemuksiin perustuvat tiedot kerättiin haastattelemalla testihenkilöitä. Ennen testausta testihenkilöt perehdytettiin testattavan työkalun käyttöön. Haastattelun lisäksi testihenkilön ajan käyttöä seurattiin hänen työskennellessä työkalun avulla.

Varsinaista simulointia varten oli tehtävä esivalmisteluita todenmukaisten kustannusten selvittämiseksi. Tämä edellytti tuotannon jalostusketjun määrittämisen lisäksi lisätutkimuksen tekemistä jalostusketjulle. Jalostusketjun avulla haluttiin saada todelliset sisäiset valmistuskustannukset ja asetuskustannukset.

Esivalmisteluiden aikana laskettiin kustannustiedot käyttämällä apuna tähän diplomityöhön sovellettuja viikkoraportteja, jotka löytyvät yrityksen sisäisistä tilastoista. Esivalmisteluna teorian pohjalta rakennettiin myös jalostusketjun kuvaus tuoteryhmälle, jota käytetään simuloinnissa.

3.1 Jalostusketjun kuvausten laatiminen

Yrityksessä aloitettiin vuonna 2011 järjestelmällisesti seuraamaan pelien yksikkökustannusten ja valmistuvien pelien lukumäärän kehitystä tehtyä työtuntia kohti. Kyseiset mittarit valittiin tuotannon tehokkuuden seuraamiseen. Seurannan ulkopuolelle jätettiin materiaalien vaikutus sekä se, etteivät nämä tilastot ota kantaa varastointikustannuksiin. Kyseisten mittarien seuraaminen on perusteltua tilanteessa, jossa eräkoot tulevat pienenemään entisestään ja tuotanto joutuu hakemaan lisää joustavuutta vuosi vuodelta enemmän.

Jalostusketjun kuvaus tehtiin alaluvun 2.2 kuvan 3 kaavion mukaisesti. Kaaviossa on esitelty pelinosien valmistuksen tuotantopolut. Kuvauksen tarkoituksena oli saada jokaisen pelin osien virtaus läpi koko tuotannon. Virtauksessa jokaiselle pelin osalle tehtiin oma polku, joka kulki jokaisen tarvittavan työvaiheen läpi.

Pelin osakohtaiset polut koostuvat seuraavista työvaiheista:

Kotelo	koteloylivetojen painoaineiston käsittely sekä painopeltien tulostaminen, koteloylivedon painaminen sekä leikkaaminen, kotelopahvin stanssaus, kotelopahvin sekä kotelon ylivedon laminointi, kotelon täyttö linjalla.
Kortit	korttien painoaineiston käsittely sekä painopeltien tulostaminen, korttien painaminen, korttien leikkaaminen sekä lajittelu pakkoihin.
Pelilauta	pelilaudan painoaineiston käsittely sekä painopeltien tulostaminen, pelilaudan ylivedon painaminen, pelilaudan ylivedon laminointi pahviin, pelilaudan stanssaus muotoon.
Säännöt	sääntöjen painoaineiston käsittely sekä painopeltien tulostaminen, sääntöjen painaminen, sääntöjen leikkaus.

Työvaiheet osavalmistuksessa työpisteittäin koostuvat seuraavista työvaiheista:

Repro	kotelo, kortit, pelilauta, säännöt.
Painokone	kotelon ylivedot, korttiarkit, pelilaudan ylivedot, säännöt.
Kaseeraus	pelilautojen ylivetojen laminointi pahviin.
Stanssaus	kotelopahvin stanssaus muotoon, pelilautojen stanssaus muotoon.
Korttileikkuri	korttiarkkien leikkaus sekä lajittelu neljäksi pakaksi.
Leikkuri	koteloylivetojen ja sääntöjen leikkaus.
Peliliinja	kotelokoneella kotelopahvin sekä ylivedon laminointi, linjalla pelin osien lisääminen pelin koteloon, pelien pakkaaminen kelmuun sekä kuuden pelin sarjoissa ulkokartonkiin.

Polkujen mittaaminen:

Seuraavassa vaiheessa virtaukselle haettiin todellisia tuotantoaikoja. Koneille on annettu maximi-kierrosmäärät / tunti. Näiden toteutuminen on riippuvaista materiaalien kulkemisesta ja kuntoonlaittojen määrästä. Lisäksi on työvaiheita, kuten repro, joissa ei voida määrittää koneellista nopeutta. Haaste ratkaistiin kahdella eri tavalla. Ensin sovittiin työpisteissä, joissa henkilön työtahti määrää työvauhdin, mitataan työajat seurannalla. Ensimmäinen ratkaisu on esitelty kuvassa 7.

Määräpäivä: 9.4.19			
Projekti 1	Pellit	Päivä	Aika
Taitto+korjaukset		27.3. ja 8.4.2019	2 tuntia
Levyille		9.4.2019	15 min.
Peltien lukumäärä	13 kpl		

Kuva 7. *Esimerkki työkohtaisesta työajan seurannasta.*

Toinen menetelmä oli aloittaa viikkoraporttien laatiminen koneilla, joissa on määritetty kierroksnopeuksille tavoitearvoja. Viikkoraportti esitellään seuraavassa alaluvussa 3.1.1.

3.1.1 Viikkoraportit

Viikkoraporttien laatiminen aloitettiin oikeiden ajovauhtien määrittämiseksi. Viikkoraporttia varten mitattiin kuntoonlaittoon menevä aika eri koneilla ja erilaisissa työtyypeissä. Viikkoraporttiin haettiin laitevalmistajien ohjeista maximi-kierroksnopeudet. Teknisistä tiedoista löytyi myös viitteellisiä aikoja kuntoonlaittojen kestolle sen osalta, mitä kone itse tarvitsee säätöaikaa asetusten vaihtamiseen.



Kuva 8. Esimerkki koneiden teknisistä tiedoista haetuista konekohtaisista nopeuksista. Kuvassa painokoneen CD-102 tekniset tiedot, alimpana painokoneen ajonopeus 15.000 kierr / h.

Viikkoraporttiin kerättiin toteutuneet valmistusmäärät viikon periodeissa. Liitteessä 8 on esimerkki viikkoraportista kerättävistä tiedoista. Kuvan sarake ”kapasiteetit huomioiden kuntoonlaitot” sisältää koneiden tehdasarvoista vähennetyt konerikot, kuntoonlaittoon menneet tunnit ja tunnit, jolloin koneella ei ole tehty työtä. Raportti toimii jatkossa myös pohjana työn tehostamiselle, jolloin tätä sovitettua kapasiteettia verrataan toteutuneisiin ajomääriin ja keskitytään selvittämään syytä toteutuneen ajomäärän sekä tavoitekapasiteetin eroon. Viikkoraportteja on kerätty elokuusta 2018 alkaen ja niiden keräämistä jatketaan vakioituna toimintona yrityksessä.

Tätä työtä varten laskettiin viikkoraporteista keskiarvot. Näiden keskiarvojen avulla saatiin todellinen valmistusaika konekohtaisesti. Osakohtaisten ja konekohtaisten arvojen avulla laskettiin yhden pelin asetusaika sekä yksikkökustannus. Liitteessä 9 on esitelty Alias-ryhmän jalostusketjun kuvaus euroiksi muutettuna. Vihreällä tehostevärillä on osoitettu arvot, joista yhden pelin valmistuksen kustannus lasketaan.

3.1.2 Asetuskustannukset

Asetuskustannukset muodostuvat konekohtaisesti työn vaihdon yhteydessä. Kohdeyrityksessä on suunnitellulla pyritty minimoimaan asetuskustannuksia. Tämä tarkoittaa esimerkiksi painokoneilla samantyyppisten töiden ajamista ryhmissä. Painokoneella on kolme pääluokkaa painettaville töille. Nämä luokat ovat lakattomat-, ylipainolakalliset- ja vesilakalliset painotyöt. Samanlaisia jaotteluita on kaikilla koneilla ja niiden suunnittelulla saadaan asetuskustannuksia pienemmiksi. Suurin asetuskustannusten aiheuttaja on pelilinjan kotelokoneet. Niiden kustannusvaikutus kattaa edellä olevan liitteen 9 mukaisesti kahden henkilön suorittaman työn pelilinjan kuntoonlaitossa sekä linjan neljän henkilön odotusajan. Odotusaika käytetään reservityöhön, joka on valmistelemaa työtä tai muuta käsityötä. Tässä työssä käytetty "Alias-ryhmän" asetuskustannus saadaan laskemalla asetusten yhteiskustannus ja suhteuttamalla pelilinja (suurin kustannus) edellä mainituilla järjestelyillä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi saman kokoisen koteloon ajamista yhden viikon jaksoissa. Samaa "Alias-kokoa" käytetään useissa peleissä ja ne pyritään ajamaan peräkkäin, jotta asetuskustannuksia voidaan pienentää pelilinjalla. Muiden koneiden osalta asetuskustannukset tulevat sellaisenaan. Liitteessä 9 on esitetty kuntoonlaittojen osuuden määräytyminen jalostusketjun kuvauksessa huomioiden pelilinjan yhden viikon jakso samalla asetuksella. Kokonaiskustannus asetuksille sisältää työntekijän työ kustannuksen ja koneiden tuntihinnat. Konekohtaiset asetuskustannukset tulevat sellaisenaan. Pelilinjan asetuskustannukset saadaan jakamalla Alias-ryhmälle laskettu optimieräkokoa (2759 kpl, perustellaan alaluvussa 3.2.3) pelilinjan viikkotavoitteella eli 25000 kpl. Optimieräkoon osuus viikkokapasiteetista on 11 %, eli kertoimena käytetään 0,11 pelilinjan asetuskustannuksissa.

3.1.3 Valmistuskustannukset

Tässä työssä valmistuskustannuksiin huomioitiin henkilöstökustannukset yhtä tuotetta kohti. Yhteiset materiaalikustannukset eivät poikkeaa suuresti valmistuserän kokoa määrittäessä. Kuntoonlaittojen yhteydessä tuleva aloitusmakulatuuri on lisäkustannus eräkokoa pienennettäessä ja ajokertojen määrän lisäämisessä. Makulatuuria ei erikseen käytetty laskelmissa, koska se on huomioitu jo tutkimuksen alkuperäisissä kustannustiedoissa 5 % hävikkinä.

Valmistuskustannukset laskettiin alalukuun 3.1.1 liittyvän liitteen 9 sarakkeesta "Valmistus ajo" yhdistämällä kaikkien työvaiheiden sisältämät valmistuskustannukset. Laskutoimituksen tuloksena saatiin yhden pelin valmistukseen sitoutuvat kustannukset.

3.1.4 Varastointikustannukset

Varaston henkilöstökustannuksiin kuuluvat aiemmin alaluvussa 2.1.2 luetellut tekijät: varaston tilakustannukset, varaston laitekustannukset, materiaalien sekä varastoitavien tuotteiden käsittelykustannukset, hallintokustannukset ja varaston ylläpidon riskikustannukset.

Varastointikustannuksia laskettaessa arvioitiin pelituotantoon olevan varattuna noin 3.000 lavapaikkaa ja varaston työntekijöitä 15 henkilöä. Kustannustiedot perustuvat yrityksen sisäisiin tilastoihin [25], joten niitä ei perustella tämän työn yhteydessä tarkemmin.

3.1.5 Tuotteiden vuosibudjetit

Pelien budjetit tehdään kvartaaliperiaatteella neljä kertaa vuodessa osittaen budjetit jokaiselle kvartaalin kuukaudelle. Budjettikorteilla (kuva 9) maakohtaiset budjetit ovat eritelty omiksi riveiksi. Kvartaaliperusteinen budjetointi perustuu budjetoinnin ja budjettikorttien säännölliseen täydentämiseen yli kalenterivuoden.

Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi syksyllä nähdään jo tulevan vuoden budjetit. Budjetoinnin ohjesääntönä on lukita lähin kvartaali, tarkastaa seuraava kvartaali ja järjestyksessä kolmannelle sekä neljännelle kvartaalille annetaan ennusteet. Tämä ohjesääntö mahdollistaa 12 kuukauden periodin hyödyntämisen tässä diplomityössä.

The screenshot shows a FileMaker Pro window titled 'FileMaker Pro - [Products2019 (FM-SERVER2)]'. The main area displays a budget spreadsheet for 'Alias Original FI' for the year 2019. The spreadsheet has columns for quarters (Q1, Q2, Q3, Q4) and months (1-12). It lists various budget items with their respective values. A 'Production list' is visible on the left, and a 'Tactic Games FIN' table is on the right.

Item	Q1 Sold Q1 2019:	Q2 Sold Q2 2019:	Q3 Sold Q3 2019:	Q4 Sold Q4 2019:	Total
Sold 2018	837	84	393	310	370
Sold 2017	1189	477	330	521	254
Budget FIN	400	400	400	400	400
Budget SE					
Budget NO					
Budget DK					
Budget NL					
Budget FR					
Budget UK					
Budget PL					
Budget US					
Budget RU					
Budget LAT					
Budget LIT					
Budget EE					
Budget EXPORT					
Budget UKR					
Budget CZ					
Budget SK					
Budget HU					
Budget RO					
Budget IL					
Budget HR (Croatia)					
Budget TOTAL	400	400	400	400	400
Orders					22
Delivered	1070	145	79	125	115
Stock Forecast					3862
Product ends					3004
Production forecast					2145
Delivered/budgeted	268%	152%	108%	89%	78%
Produced					4050

Kuva 9. Esimerkki budjettikortista. Kuvassa Alias Original FI pelin vuoden 2019 budjetti.

3.2 Numeerinen simulointi

Tuotannon suunnitteluun vaikuttaa budjettien lisäksi reaaliaikaiset asiakastilaukset, jotka tehdään normaaleina toimituksina joko sisältyen budjettiin tai budjetin lisäksi. Tilausten ja eri tuotteiden välisten budjettien erilaisuuksien vuoksi tarvitaan tuotannon suunnittelun apuna dynaamiseen kysyntään soveltuvaa allokointia. Budjettien ja tilausten yhdistämisestä tilauskannasta löytyy tuotteita, joiden kysyntä on säännöllistä sekä tasaista ja tuotteita, joita tehdään vaan tiettyyn sesonkiin.

Tähän kysynnän erilaisuuksiin, eli dynaamisuuteen, päätettiin rakentaa menetelmä, joka antaa parhaan tuloksen valmistussuunnitelman tekemiseen vertailemalla eri vaihtoehtoja useamman laskentamenetelmän avulla. Vertailtavia vaihtoehtoja löytyi runsaasti. Lista menetelmistä täydentyi teoriaan tutustumisvaiheessa tiettyjen menetelmien johdannaisilla. Työn tavoitteena oli kerätä valittujen menetelmien avulla tarpeeksi kattava osuus menetelmien tarjoamista erilaisista ominaisuuksista. Testaamalla menetelmiä ja niiden käyttöominaisuuksia tavoiteltiin erilaisille budjeteille optimaalinen ehdotus valmistuserien lukumäärästä sekä ajankohdista minimoiden kokonaiskustannukset ja seurattiin menetelmien käyttökokemuksia.

Valitut menetelmät simuloinnissa olivat:

EBQ,	optimieräkoon määrittäminen	staattinen / yksinkertainen
LUC,	least unit cost	dynaaminen / heuristinen
LTC,	least total cost	dynaaminen / heuristinen
LFL,	lot for lot	dynaaminen / yksinkertainen
POQ,	period order quantity	dynaaminen / yksinkertainen
PPB,	part period balancing	dynaaminen / heuristinen
FPD,	fixed period demand	dynaaminen / yksinkertainen
W-W,	Wagner Whitin algorithm	dynaaminen / optimaalinen
SM,	Silver-Meal method	dynaaminen / heuristinen

Simulointi päätettiin toteuttaa taulukkolaskennan toteutusympäristöön. Valmistuneen taulukkolaskentaan perustuvan tiedoston käyttö on ensisijaisesti tarkoitettu tuotannon suunnitteluun ja myynnin tukena toimivalle yrityksen omalle Service Centerille. Kummankin yksikön työn kuvaan kuuluu jo suunnittelu ja tilausten käsittelyvaiheessa kustannustehokkaan tuotannon tukeminen. Tuotannon suunnittelu käyttää työkalua omassa työssään määrittäessään eräkoot ja valmistusajat. ServiceCenter yhdistää tilauksia sekä budjetteja työkalun avulla ja tekee tuotantoon valmistuspyyntöjä. Taulukkolaskenta-työkalun toiminta kummallekin yksikölle on identtinen, mutta kumpikin taho käyttää työkalua itsenäisesti.

3.2.1 Simulointityökalun toteutus

Simulointityökalua varten suunniteltiin, mitä tietoja työkalun pitää antaa sen käyttäjälle. Työkalun odotetaan antavan suosituksen valmistuserien ajoituksesta, valmistuserien kappalemääristä ja valmistuksen sekä varastoinnin kustannuksista.

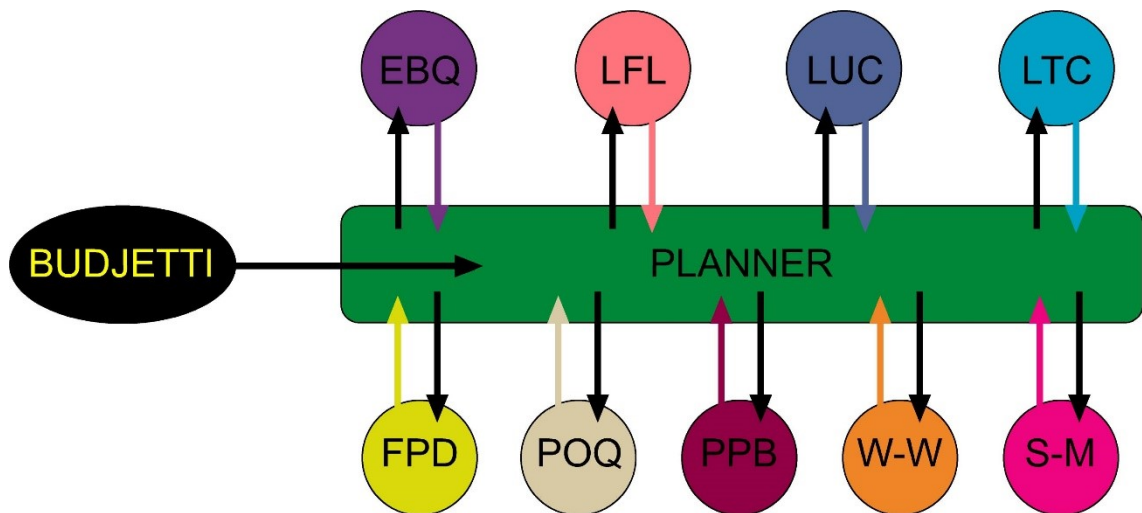
Valmistuserien varastoon saapumisen kohdalla päätettiin, että työkalu kertoo sen kuukauden ensimmäisen päivän, kun valmistuserän on oltava valmis. Neljän viikon valmistusaikaa, joka on tuotannon keskimääräinen toimitusaika, muutettiin 4-6 viikon toimitusajaksi. Tämä antaa tuotannon suunnittelulle kahden viikon varoajan kuorman tasaamiseksi ja saman kokoisten pelilaatikkoaihioiden tuotantoajojen keräämisen pelilinjalle.

Simulointituloksiin tuodut kustannukset ilmoitetaan kokonaiskustannuksina sekä kustannuksina yhtä tuotetta kohti. Tämä palvelee yrityksen seurantaan nykyisiä tunnuslukuja paremmin. Aiemmin esitelty tunnusluku kustannukset / peli kertoo vain valmistuksen kustannukset, ei siis varastoinnin kustannuksia. Tätä aikaisempaa tunnuslukua pienennettiin nostamalla valmistuserän määrää, joka johti varastomäärien kasvamiseen ja varastointikustannusten kasvuun. Yhteisten valmistus- ja varastointikustannusten minimointi on yritykselle tehokkainta. Toisena huomiona on tunnuslukujen realistisuus. Tunnuslukujen realistisille tavoitteille löytyy perusteet simulointityökalun avulla. Tiedetään mikä on paras tunnusluvun arvo, jota tavoitellaan. Simulointityökalu antaa tavoitearvot tuotannolle.

Simulointityökalu toteutettiin tuoteryhmien mukaisesti. Tässä työssä esitelty "Alias-ryhmä" sisältää noin 300 formaatiltaan samankaltaista tuotetta. Työkalu tarvitsee aiemmin esiteltyjen varastointi-, valmistus- ja asetuskustannusten lisäksi tuoteryhmän sisältämien saman formaatin pelien kysyntätiedot. Kysyntätiedot haettiin yrityksen budjettikorteista, jotka sisältävät ennusteperäiset budjetit ja tilaukset.

Liitteessä 10 on esitelty työkalun etusivu, joka on nimetty "planner- sivuksi". Tämä on taulukkolaskentatiedoston ensimmäinen välilehti, jota työkalun käyttäjä käyttää. Sarakeeseen " D = kk-budjetti" syötetään kuukausibudjetit manuaalisesti. Tämä siksi, että taulukkolaskentatiedostoa ei linkitetty vielä koekäyttöä varten FileMaker:iin, josta budjetit löytyvät. Kun budjetit on syötetty "planner- sivulle", ne päivittyvät automaattisesti jokaiselle yhdeksälle simuloinnin tekeväälle välilehdelle. Budjetin syöttämisen jälkeen oikeassa reunassa olevaan taulukkoon tulee päivitetty järjestys eri menetelmien kokonaiskustannuksista sekä yksikkökustannuksista. Tässä vaiheessa käyttäjän oli selattava välilehdet ja tehtävä tarkastuksia taulukoihin. Minimifunktio-ehtolauseen avulla laatikon ylimmäiseksi tulee edullisin menetelmä ja sen alle tulevat muiden menetelmien kustannukset paremmuusjärjestyksessä. Minimi-funktio syötetään min-lausekkeella kohdistamaan jokaisen välilehden kyseiset tiedot samaan lausekkeeseen. Paremmuusjärjestyksessä olevien kustannustietojen viereen tulee parhaan tuloksen antaneen menetelmän valmistuserät ja niiden valmistuksen ajankohdat.

Kuva simulointityökalun etusivusta eli "Planner"- sivusta löytyy liitteestä 10. Työkalu hakee kysyntätiedot ja palauttaa kustannukset sekä valmistuserien määrät toimitusaikoihin. Huomio: Työkalun etusivu haluttiin pitää yksinkertaisena ja nopeana käyttää. Testin aikana havaittiin puute, eli käyttäjän tuli käydä jokaisella välilehdellä tarkastamassa tiedot sekä muutamilla välilehdillä valitsemassa valmistuserien jaot. Näiden välilehtien toiminta on esitelty seuraavissa alaluvuissa 3.2.2 – 3.2.9. Kaavio simulointityökalusta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Kaavio simulointityökalun toiminnasta.

3.2.2 Lot For Lot

Lot For Lot-menetelmä oli yksinkertainen menetelmä, josta työkalun tekeminen oli helppo aloittaa. Sen tavoitteena oli pitää varastokustannukset nollassa. Tämä tarkoittaa, että LFL -välilehdellä valmistuserien määrä ja kysyntä vastaavat samaa aikataulua. Eli jokaisen budjettiperiodin ensimmäisenä päivänä valmistuu kyseisen periodin kysyntä. Asetuskustannuksia tulee periodien lukumäärä \times asetuskustannus. Kuvassa 11 on esitelty simulointityökalun LFL-välilehden arvot Alias Original FI pelille. Välilehdellä on eritelty asetus- ja valmistuskustannukset.

Välilehti rakennettiin hakemalla "Planner" -sivulta kysyntätiedot. Tämän jälkeen asetettiin vihreä pohjalla olevat valmistuserät saman suuruiseksi budjettisarakkeen kanssa. Asetuskustannukset yhtä valmistuserää kohti syötettiin taulukkoon aina, kun vihreä TA-sarake on suurempi kuin nolla. Ajokustannukset, jotka esitiedoissa oli määritelty, kerrottiin jokaiselle riville vihreän sarakkeen valmistuserän mukaan. Välilehti laskee yhteen kokonaiskustannukset ja valmistus- sekä varastointikustannukset vielä erikseen.

Lot-for-Lot						
		Valmistus	TA = 4 vk	Asetuskust.	Varastokust	Ajokustannus
D=budjetti	8400	Erä saapuu	8400			
1	400	1.1	400	533*b	0,00 €	400*b
2	400	1.2	400	533*b	0,00 €	400*b
3	400	1.3	400	533*b	0,00 €	400*b
4	400	1.4	400	533*b	0,00 €	400*b
5	400	1.5	400	533*b	0,00 €	400*b
6	400	1.6	400	533*b	0,00 €	400*b
7	400	1.7	400	533*b	0,00 €	400*b
8	800	1.8	800	533*b	0,00 €	800*b
9	1200	1.9	1200	533*b	0,00 €	1200*b
10	1200	1.10	1200	533*b	0,00 €	1200*b
11	1200	1.11	1200	533*b	0,00 €	1200*b
12	1200	1.12	1200	533*b	0,00 €	1200*b
Asetuskustannus	533*b			6396*b		
Varastokustannus	0,3*b				0,00 €	
Valmistus / kpl	b					8400*b
Kokonaiskustannus	1,8*b	14800*b				
Valmistuskustannus	1,8*b	14800*b				
Varastokustannus	0,00 €	0,00 €				

Kuva 11. Kuva simulointityökalun "LFL -välilehdestä". Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen *b*. Vihreässä sarakkeessa on valmistuserien kappalemäärät, jotka ovat suoraan kysynnän mukaan. Punaisessa sarakkeessa ovat asetuskustannukset. Ruskea sarake, jossa ovat varastokustannukset ovat nollarivejä. Harmaassa sarakkeessa ovat valmistuskustannukset erää kohti.

3.2.3 EBQ – Optimaalinen erä koko

Optimaalisen eräkoon laskennassa oli huomioitava laskentakaavan staattisuus. Kaava olettaa kysynnän olevan tasaista. Tämä asia toteutettiin käyttämällä koko vuoden kysyntää yhteissummuna välittämättä periodien jakautumisesta. Asetuskustannukset tulivat sellaisenaan ja varastointi kustannukset huomioitiin kertomalla periodikohtainen varastoinnin yksikkökustannus periodien lukumäärällä.

Vertailun vuoksi laskettiin *EBQ* kahdella tavalla. Ensin syötettiin optimi eräkoon kaavaan (kaava 1) tiedot käyttäen asetuskustannuksina asetusten kokonaiskustannuksia "Alias-ryhmälle", tässä työssä "*EBQ kok*". Tämä arvo kuvaa tilannetta, jossa kyseinen "Alias-tuote" valmistettaisiin täysin omana ajona, eli korkeimman asetuskustannuksen työvaiheessa pelilinjalla ei tehdä edellä mainittua yhden viikon tuotantoajoa. Toinen arvo

"EBQ tod" saatiin laskemalla tilanteessa, jossa tuotantoa on suunniteltu ajettavaksi pelilinjalla yhden viikon jaksoissa. Iso kuntoonlaitto pelilinjalla, jolla tarkoitetaan pelikotelokoon vaihtumista, tulee vain kerran tehtäväksi linjalla.

Kuvassa 12 on esitelty EBQ- välilehden toiminta. Ensin laskettiin "EBQ kok" ja "EBQ tod". Työssä käytettiin arvoa "EBQ tod", jolle laskettiin toimituserien lukumäärä jakamalla koko vuoden kysyntä "EBQ tod"-arvolla. Nämä valmistuserät paikoitettiin vertaamalla kysyntää saatavuuteen. Uusi valmistuserä paikoitettiin saapuvaksi niin, ettei varasto saldo ei pääse nolaksi. Kuvan vihreä sarake esittää valmistuserien koot sekä ajoitukset, punainen sarake asetuskustannukset valmistuskertaa kohden, ruskea sarake varastointikustannukset varaston tilanteen mukaan periodeittain ja harmaa sarake valmistuskustannukset valmistuserää kohden. Välilehdellä esitetään valmistuserien koot sekä ajoitukset.

OPTIMAALINEN ERÄKOKO kok. asetus							EBQ kok:	2 539
Tilauksia vuodessa								3
OPTIMAALINEN ERÄKOKO osa asetus							EBQ tod:	1 419
Tilauksia vuodessa								6

Saldo ei saa mennä miinukselle				Valmistus	TA = 4 vk	Asetuskust.	Varastokust	Ajokustannus
D = kk- budjetti	8400	Kertymä	Valmistunut	Erä saapuu	8400			
1	400	400	1419	1.1	1419	533*b		1419*b
2	400	800					314*b	
3	400	1200					190*b	
4	400	1600	2838	1.4	1419	533*b	60*b	1419*b
5	400	2000					381*b	
6	400	2400					258*b	
7	400	2800		1.7			571*b	
8	800	3600	4257		1419	533*b	448*b	1419*b
9	1200	4800	5676	1.9	1419	533*b	639*b	1419*b
10	1200	6000	7095	1.10	1419	533*b	706*b	1419*b
11	1200	7200	8400	1.12	1305	533*b	738*b	1305*b
12	1200	8400						
Asetuskustannus	533*b					3198*b		
Varastokustannus	0,3*b						4305*b	
Valmistus / kpl	b							8400*b
Kokonaiskustannus	1,9*b	15960*b						
Valmistuskustannus	1,4*b	11598*b						
Varastokustannus	0,4*b	4305*b						

Kuva 12. Kuva simulointityökalun EBQ -välilehdestä. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b.

3.2.4 Least Unit Cost

LUC -välilehti rakennettiin kuvasarjan 13.1 ja 13.2 mukaisesti. Ensin haettiin käytettävät perustiedot, eli asetuskustannukset, varastointikustannukset ja valmistuksen yksikkökustannukset. Seuraavassa vaiheessa rakennettiin allokointia varten oma aputaulukko, joka seuraa brutto- sekä nettotarpeen ja varaston arvon kehittymistä. Taulukkoon lisättiin myöhemmin täydennystä varten rivit valmistuserän saapumiselle ja tilauksen tekemiselle tuotantoon. Varsinainen simulointi tehtiin vertaamalla periodin yhdistelmiä ja niiden aiheuttamia yksikkökustannuksia varastoinnin sekä asetusten osalta. Tässä vertailussa haettiin käytettävien yksikkökustannusten minimiarvoja, eli valmistuserän kerääminen lopetetaan, kun yksikkökustannus alkaa nousemaan. Kuvassa 13.2 on myös koontitaulukko, johon on kerätty edellisten lukujen mukaisesti asetuskustannukset, niihin liittyvät valmistuskustannukset ja periodeittain kerääntyneet varastointikustannukset.

Periodi	0	1	2	3	4	5	6
Bruttotarve		400	400	400	400	400	400
Aikataulutettu							
Varastosaldo	0	800	400	0	800	400	0
Nettotarve		400			400		
Suunniteltu valmistus		1200			1200		
Suunniteltu tilaus	1200			1200			2400

7	8	9	10	11	12	
400	800	1200	1200	1200	1200	
2000	1200	0	1200	0	0	
400	-1200	0	1200	0	1200	
2400			2400		1200	
		2400		1200		8400

Kuva 13.1. Kuva simulointityökalun LUC -välilehden allokointia varten tehty aputaulukko.

Asetuskustannus	533*b				
Varastokustannus	0,3*b				
Valmistus / kpl	b				
Alkuvarasto	0				
Varmuusvarasto	0				
Yhdistelmä	Asetus	Varastointi	Yhteensä	Erä koko	a'-kust
1	533*b	0,00 €	533*b	400	1,33*b
1,2	533*b	123*b	656*b	800	0,82*b
1,2,3	533*b	369*b	902*b	1200	0,75*b
1,2,3,4	533*b	738*b	1271*b	1600	0,79*b
4	533*b	0,00 €	533*b	400	1,33*b
4,5	533*b	123*b	656*b	800	0,82*b
4,5,6	533*b	369*b	902*b	1200	0,75*b
4,5,6,7	533*b	738*b	1271*b	1600	0,79*b
7	533*b	0,00 €	533*b	400	1,33*b
7,8	533*b	123*b	656*b	800	0,82*b
7,8,9	533*b	985*b	1518*b	2400	0,63*b
7,8,9,10	533*b	2092*b	2625*b	3200	0,82*b
10	533*b	0,00 €	533*b	1200	0,44*b
10,11	533*b	369*b	902*b	2400	0,38*b
10,11,12	533*b	1108*b	1641*b	3600	0,55*b
12	533*b	0,00 €	533*b	1200	0,44*b

Kuva 13.2. Kuva simulointityökalun LUC - välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b . Keltaisella pohjalla olevien valmistuserien kustannukset kerätään vertailulaskelmaan.

3.2.5 Least Total Cost

LTC -välilehti rakennettiin samalla tavalla kolmivaiheisesti, kuten LUC -välilehti. Kaksi ensimmäistä vaihetta olivat samat kuin kuvassa 13.1 esitellyt LUC:n vaiheet. Ero näiden kahden menetelmän laskemisessa tulee varsinaisessa simuloinnissa. LTC tavoittelee tilannetta, jossa valmistus- ja varastointikustannukset ovat lähimpänä toisiaan. Tämä tarkoittaa, että valmistuserän kerääminen periodeittain katkaistaan, kun tämä erotus lopettaa pienenemisen ja alkaa kasvamaan. Menetelmän käyttö on esitelty kuvassa 14 keltaisella pohjalla olevien sarakkeiden tarkoittaessa toteutuvaa valmistuserää. Edellisten lukujen mukaisesti välilehdeltä noudetaan valmistuksen ka. kustannusten tiedot.

Asetuskustannus	533*b					
Varastokustannus	0,3*b					
Valmistus / kpl	b					
Alkuvarasto	0					
Varmuusvarasto	0					
Periodi	Eräkoko	V-periodi	Varastokust.	Asetus	Yhteensä	LTC
1	400	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
1,2	800	1	123*b	533*b	656*b	410*b
1,2,3	1200	2	379*b	533*b	912*b	164*b
1,2,3,4	1600	3	2400*b	533*b	2933*b	1867*b
4	400	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
4,5	800	1	123*b	533*b	656*b	410*b
4,5,6	1200	2	379*b	533*b	912*b	164*b
4,5,6,7	1600	3	2400*b	533*b	2933*b	1867*b
7	400	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
7,8	1200	1	246*b	533*b	779*b	287*b
7,8,9	2400	2	985*b	533*b	1518*b	451*b
9	1200	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
9,10,	2400	1	369*b	533*b	902*b	164*b
9,10,11	3600	2	1108*b	533*b	1641*b	574*b
11	1200	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
11,12	2400	1	369*b	533*b	902*b	164*b

Periodi	Valmistus
1	1200
2	
3	
4	1200
5	
6	
7	1200
8	
9	2400
10	
11	2400
12	
	8400

Kuva 14. Kuva simulointityökalun LTC -välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b . Keltaisella pohjalla olevien valmistuserien kustannukset kerätään vertailulaskelmaan ja vihreällä pohjalla löytyvät toteutettavat valmistuserät.

3.2.6 Period Order Quantity

POQ-välilehti perustuu *EBQ*-arvon käyttämisen simuloinnissa. *EBQ*-arvo on laskettu valmiiksi *EBQ.n* välilehdellä. Tässä työssä käytettiin "*EBQ tod*"-arvoa. Tämän jälkeen jaettiin vuotuinen kysyntä "*EBQ tod*"-arvolla, jolloin saatiin valmistuserien lukumäärä. Budjettikauden periodien lukumäärä jaettiin saadulla valmistuserien lukumäärällä. Tämä arvo on valmistuserien tilausväli.

Kuvassa 15 on esitelty POQ -välilehden toiminta. Esivalmistelun avulla saadut kustannustiedot ja kysyntätiedot haetaan välilehdelle kuten aiemmissa alaluvuissa. Tilausväliä käytetään määräävänä tietona ja valmistuserän kappalemäärä lasketaan valmistuserään kohdistuvien kysyntöjen mukaan. Tässä "Alias-ryhmän" esimerkissä tilausväli oli kaksi periodia, joten valmistuserän lukumäärä kattaa seuraavat kaksi periodia.

Period Order Quantity	POQ		
	EBQ =	1419	
	ka(kk) =	700	
	Tilausväli (kk)	2 EBQ/ka(kk)	

		Valmistus	TA = 4 vk	Asetuskust.	Varastokust.	Ajokustannus
D=budjetti	8400	Erä saapuu	8400			
1	400	1.1	800	533*b	123*b	800*b
2	400					
3	400	1.3	800	533*b	123*b	800*b
4	400					
5	400	1.5	800	533*b	123*b	800*b
6	400					
7	400	1.7	1200	533*b	246*b	1200*b
8	800					
9	1200	1.9	2400	533*b	369*b	2400*b
10	1200					
11	1200	1.11	2400	533*b	369*b	2400*b
12	1200					
Asetuskustannus	533*b			3198*b		
Varastokustannus	0,3*b				1353*b	
Valmistus / kpl	b					8400*b

Kuva 15. Kuva simulointityökalun POQ -välilehden toiminnasta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen *b*.

3.2.7 Part Period Balancing

PPB -välilehdellä hyödynnettiin esitetoina laskettuja asetuskustannuksia ja varastoinnin yksikkökustannuksia. Tämän jälkeen periodi kerrallaan laskettiin ensimmäiselle valmistuserälle sekä sen asetuskustannuksille varastoon jäävien tuotteiden kustannus. Käyttäen syötettyjä kysyntätietoja, menetelmä laski periodi kerrallaan niiden yhteisen varastointikustannuksen, kunnes saavutettiin tilanne, jossa varastointikustannus saavutti pisteen, jossa se oli lähimpänä asetuskustannuksia. Varastointi- ja asetuskustannusten eron alkaessa kasvavamaan lopetettiin periodien kerääminen. Tämä periodi valittiin viimeiseksi periodiksi kerättäessä osaperiodia, eli valmistuserän kappalemäärää. Aiemmin teoriassa esitelty *EPP*-tekijä, eli varastokustannusten ja asetuskustannusten välinen suhde on niin lähellä arvoa 1, kun tällä Alias-ryhmällä päästään.

Kuvassa 16 on esitelty PPB -välilehden simulointi. Kuvan taulukoista selviää, että PPB-menetelmä ehdottaa neljää valmistuserää. Taulukoiden lukumäärä on sama kuin ajokertojen lukumäärä. Kuvassa 16 on esitelty PPB -välilehden koontitaulukko noudettavia tietoja varten. Taulukosta selviää valmistuskertojen lukumäärä sekä kappalemäärä ja vertailuun tarvittavat kustannustiedot.

Vertaa asetus				Vertaa asetus		
533*b	Tarve	varastokust		533*b	Tarve	varastokust
1	400	0,00 €		6	400	0,00 €
2	400	123*b		7	400	123*b
3	400	246*b		8	800	369*b
4	400	369*b		9	1200	738*b
5	400	492*b				
6	400	615*b				

Vertaa asetus				Vertaa asetus		
533*b	Tarve	varastokust		533*b	Tarve	varastokust
9	1200	0,00 €		11	1200	0,00 €
10	1200	369*b		12	1200	369*b
11	1200	738*b				

		Valmistus TA = 4 vk	
D=budjetti	8400	Erä saapuu	8400
1	400		2000
2	400		
3	400		
4	400		
5	400	1.5	
6	400		1600
7	400	1.7	
8	800		
9	1200	1.9	2400
10	1200		
11	1200	1.11	2400
12	1200		

Kuva 16. Kuva simulointityökalun PPB -välilehden eräkokojen ja ajotiheyksien laskemisesta. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b. Keltaisella pohjalla ovat toteutettavat valmistuserät ja niiden allokointi on vihreällä pohjalla.

3.2.8 Fixed Period Demand

FPD -välilehti toteutettiin yhdistämällä valinnainen määrä periodeja. Kuten aiemmin teoriaosuudessa alaluvussa 2.4.6 mainittiin valinnaisen lukumäärämuuttujan ollessa yksi, menetelmä on käytännössä sama kuin LFL-menetelmä. Tässä työssä käytettiin muuttujana lukuja 2, 3 ja 4. Kuvan 17 mukaisesti laskettiin vertailukustannukset kahden, kolmen ja neljän periodien yhdistämiselle. Kyseisille vaihtoehdoille laskettiin asetus-, valmistus- ja varastointikustannukset. Näistä kolmesta vaihtoehdosta valittiin minimikustannukset antava vaihtoehto.

FPD (n)				FPD (t)			
Periodi	Alkusaldo	n = 2	Loppusaldo	Periodi	Alkusaldo	n = 3	Loppusaldo
1	0	800	400	1	0	1200	800
2	400		0	2	800		400
3	0	800	400	3	400		0
4	400		0	4	0	1200	800
5	0	800	400	5	800		400
6	400		0	6	400		0
7	0	1200	800	7	0	2400	2000
8	800		0	8	2000		1200
9	0	2400	1200	9	1200		0
10	1200		0	10	0	3600	2400
11	0	2400	1200	11	2400		1200
12	1200		0	12	1200		0
		8400				8400	

FPD (t)			
Periodi	Alkusaldo	n = 4	Loppusaldo
1	0	1600	1200
2	1200		800
3	800		400
4	400		0
5	0	2000	1600
6	1600		1200
7	1200		800
8	800		0
9	0	4800	3600
10	3600		2400
11	2400		1200
12	1200		0
		8400	

Kuva 17. Kuva simulointityökalun FPD -välilehden vertailusta periodien yhdistämisen eri variaatioista $n:n$ ollessa 2, 3 tai 4.

3.2.9 Wagner-Whitin algoritmi

W-W-välilehteä varten rakennettiin samanlainen allokointitaulukko kuten LUC- ja LTC-menetelmille alaluvuissa 3.2.4 ja 3.2.5. Kuvassa 18 on W-W-välilehden simulointia varten tehty allokointitaulukko, johon kerätään valmistuserät ja varastosaldot. Itse W-W-taulukko rakennettiin rivi kerrallaan valmiiksi. Rivit muodostettiin aloittamalla ensimmäisestä periodista ja keräämällä sen riville varastokustannukset sekä asetuskustannukset vuoden loppuun olettaen, että koko vuoden tarve tehdään kerralla. Seuraavalle riville lasketaan alkaen toisesta periodista samalla tavalla vuoden loppuun olettaen, että ainoat asetuskustannukset kohdistuvat toiseen periodiin. Loput taulukon rivit täytetään samalla tavalla viimeiseen periodiin asti. Taulukko muistuttaa yläkolmiomatriisia. Jokaisen sarakkeen, lukuun ottamatta ensimmäistä periodia kuvaavaa saraketta, alimmaisena on W-W-algoritmin minimilauseke, joka kuvaa edellistä periodista haetun minimiarvon sekä asetuskustannusten summaa. Tämä luku ilmoittaa jokaisen polun minimikustannuksen. Tätä minimikustannusta verrattiin

samassa sarakkeessa olevan sen rivin kustannukseen, josta kysyntäperiodin kerääminen valmistuserään alkoi. Minimifunktion, eli minimikustannuksen ollessa pienempi, kuin kyseisessä sarakkeessa olevan verrattavan rivin kertymäkustannus, lopetettiin valmistuserän kerääminen. Valmistuserän viimeiseksi periodiksi saatiin summa niiden periodien kappalemäärien lukumäärästä, jota kyseinen minimifunktio kuvaa. Käytännössä se on minimifunktiota edellinen sarake.

Aloitettaessa seuraavan valmistuserän kerääminen verrattiin minimifunktiota ensimmäiseen edellisen valmistuserän ulkopuolelle jääneeseen periodiin. Tämä rivi löytyi esimerkkinä olleella "Alias-tuotteella" liitteen 6 taulukon riviltä 6, koska ensimmäiseen valmistuserään yhdistettiin periodit 1-5. On huomioitava, että rivien numerointi vastaa sarakkeiden numerointia. Tämä tarkoittaa, että periodit jakaantuvat samoin riveille ja sarakkeille.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6
Budjetti	400	400	400	400	400	400
Varasto	1 600	1 200	800	400	0	400
Netto-tarve	-1600	-1200	-800	-400	0	-400
Tuotanto 1.m	2000					800

7	8	9	10	11	12
400	800	1200	1200	1200	1200
0	1 200	0	1 200	0	0
0	-1200	0	-1200	0	0
	2000		2400		1200

Kuva 18. Kuva simulointityökalun W-W-välilehden allokointitaulukosta.

3.2.10 Silver-Meal method

SM-välilehdelle tehtiin ensin oma allokointitaulukko kuvan 19 mukaisesti. Varsinainen simulointi SM -välilehdellä tehtiin rakennetulla SM-taulukolla. Periodien kysynät noudettiin kysyntätaulukosta samoin kuin aiemmilla välilehdillä. Suunniteltua valmistuserää kasvatettiin periodi kerrallaan, eli rivi kerrallaan. Suhdelukua k , jonka laskentakaava on esitelty alaluvussa 2.4.8, seurataan ja se katkaisee valmistuserien keräämisen. Suhdeluku k huomio periodeista yhdistettyjen perättäisten jaksojen järjestysnumeroiden erotuksen ja varastointi- sekä asetuskustannukset. Valmistuserää kerätään periodi kerrallaan niin kauan, kunnes taulukko löytää minimiarvon ja suhdeluku alkaa nousemaan. Simulointitaulukon viereen tehtiin koontitaulukko kokonaiskustannusten muodostumiselle SM- välilehdellä.

Periodi	0	1	2	3	4	5	6
Bruttotarve		400	400	400	400	400	400
Aikataulutettu							
Varastosaldo	0	2400	2000	1600	1200	800	400
Nettotarve		400	-2000	-1600	-1200	-800	-400
Suunniteltu valmistus		2800					
Suunniteltu tilaus	2800						

7	8	9	10	11	12
400	800	1200	1200	1200	1200
0	1200	0	1200	0	0
0	800	0	1200	0	1200
	2000		2400		1200
2000		2400		1200	

Kuva 19. Kuva simulointityökalun SM -välilehden allokointitaulukosta.

3.2.11 Simulointityökalun käyttäminen

Simulointityökalun käyttö vaati välilehdillä operointia. Etenkin EBQ-, LTC-, LUC- ja SM-menetelmien kohdalla jouduttiin manuaalisesti operoimaan siirryttäessä budjetista toiseen. Näiden välilehtien täydellistä automatisointia taulukkolaskennan toteutusympäristössä ei tehty vielä testikäytön aikana. Kaikkien yhdeksän välilehden automatisointi kannattaa tehdä tulevaisuudessa. Niiden kaikkien käyttäminen takaa luotettavamman tuloksen valmistuserien allokoinnissa.

Työkalua testaamalla haettiin yksinkertaista, mutta riittävän kattavaa simulointia eri budjeteille ja eri menetelmillä tehtynä. Kerätyn käyttökokemuksen perusteella pystyttiin rajaamaan yhdeksän menetelmän vertailu kolme menetelmää kattavaksi. Lopulliseen työkaluun valittiin LFL, FPD ja W-W. Perusteet valinnoille esitellään seuraavan luvun alaluvussa 4.1.1.

Alias FI budjetin avulla vertailtiin työssä käytettyjä yhdeksää eri menetelmää.

Silver Meal Method	12096*b	1,44*b		Periodi	Valmistus
Least Total Cost	12684*b	1,51*b		1	2800
Period Order Quantity	12936*b	1,54*b		2	
Fixed Period Demand	12936*b	1,54*b		3	
Part Period Balancig	13104*b	1,56*b		4	
Least Unit Cost	13104*b	1,56*b		5	
Wagner-Whitin algor.	13104*b	1,56*b		6	
Lot For Lot	14868*b	1,77*b		7	
EOQ	15960*b	1,90*b		8	2000
				9	
				10	2400
Edullisin Silver Meal	12096*b	1,44*b		11	
				12	1200
					8400

Kuva 21. *Alias FI tulosten antama järjestys eri menetelmille ja suositellut eräkoot. Kuvassa todelliset kustannukset ovat suhteutettuna valmistuksen yksikkökustannukseen b.*

4.1.1 Simulointityökalu

Tuloksista selvisi, että ensimmäiset seitsemän menetelmää mahtuivat pienen keskinäisen eron sisälle. Tämän yhden vertailun perusteella pystyttiin toteamaan, että kaikkia yhdeksää menetelmää ei tarvita. Haastatteluiden perusteella todettiin, että käyttökokemus oli helpompi toteuttaa rajaamalla lopullinen työkalu käyttämään kolmea eri menetelmää.

Menetelmien valinnassa otettiin käyttäjien kommentit käytön helppoudesta. Kaikkien valittujen menetelmien tärkeimpänä etuna oli helppokäyttöisyys taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Menetelmien välisten kustannustietojen väliset erot olivat esimerkkitapauksessa pieniä. SM-menetelmä antoi testissä parhaimman tuloksen, mutta erojen ollessa pieniä käyttäjäkokemuksen perusteella se jätettiin pois lopullisesta työkalusta, koska käyttäjät toivoivat työkaluun menetelmiä, jotka ovat käyttäessä helppoja ja nopeita. SM-menetelmä työkalun kehittämisen nykyisessä vaiheessa olisi vaatinut jokaiselta käyttäjältä ymmärrystä menetelmän toiminnasta enemmän kuin se on mahdollista. Työkalun parantaminen jatkuu ja parantamisen tärkein tavoite on saada työkalu toimimaan täysin automaattisesti. Automatisoinnin jälkeen pystytään ottamaan kaikki tutkittavat yhdeksän menetelmää mukaan työkaluun. Haastatteluiden perusteella

valittiin menetelmät, joiden toteuttaminen työkalussa on helppo omaksua. Tämän hetkiseen työkaluun valittiin seuraavat menetelmät:

- **Lot For Lot** sopii tilaus- perusteiselle kysynnälle
osittain käytössä nyt
- **Fixed Period Demand** sopii pienille ja keskipienille tiheille budjeteille
epävarmoin tilanteisiin
osittain käytössä nyt
- **Wagner-Whitin** sopii dynaamisille budjeteille
optimointi- työkalu

4.1.2 Tuotekohtainen vertailu käytetyille menetelmille

Valittuja menetelmiä testattiin kymmenellä eri Alias-ryhmän tuotteella. Alla on kyseisten tuotteiden budjettikortit, ehdotettu ratkaisu paremmuusjärjestyksessä ja koontitaulukko menetelmien vertailusta.

Fixed Period Demand

Periodi	Valmistus
1	800
2	0
3	800
4	0
5	800
6	0
7	1200
8	0
9	2400
10	0
11	2400
12	0
	8400

Kuva 22.1. Alias FI tulokset lopullisella työkalulla

Fixed Period Demand

Periodi	Valmistus
1	2000
2	0
3	1400
4	0
5	800
6	0
7	1600
8	0
9	1600
10	0
11	1600
12	0
	9000

Kuva 22.2. Alias Jr NO tulokset lopullisella työkalulla.

Kuva 22.3. *Alias NO tulokset lopullisella työkalulla.*

Layout/History

View As:

Preview

GO

List TOTAL

List

2019 Q1

2019 Q2

2019 Q3

2019 Q4

2019 Q5

Art.No.

53364

Group:

Q3

Q1

Sold Q1 2019:

2172

Q2

Sold Q2 2019:

4574

Q3

Sold Q3 2019:

6975

Q4

Sold Q4 2019:

4511

Q5

Sold Q5 2019:

4511

Q6

Sold Q6 2019:

Name:

Alias Original (RU)

Department:

RU

Budget:

Lock

Org.

FI

Export:

BU

Budget:

Lock

Add Budget

Sold 2018

2118

54

3264

1710

3060

30

3889

4254

257

18636

Sold 2017

30

68

1100

18

992

54

3030

92

5457

38

2784

2828

16578

Updated

24.6.2019

Budget FIN

O_stock

3308

Safety Stock

Budget NO

Stock BV

Budget DN

O_stock BV

Budget NL

Stock NL

Budget FR

O_Stock NL

Budget UK

Stock UK

Budget PL

O_Stock UK

Budget RU

Stock PL

Budget US

5000

15000

</

Kuva 22.4. *Alias RU tulokset lopullisella työkalulla.*

Layout/History		View As	Preview	SC		List Dates		List		2018		2019	
Art.No.	53160	Group:	03	Q1		Q2		Q3		Q4			
Name:	Alia Original (SE)			Sold Q1 2019:		Sold Q2 2019:		Sold Q3 2019:		Sold Q4 2019:			
Class:	53127	Department:	SCAN	Budget:		Budget:		Budget:		Budget:			
Org.	FI	Export:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Add Budget													
Sold 2018				165	128	133	114	219	162	114	150	288	702
Sold 2017				265	129	222	174	375	160	174	316	771	1054
Updated	24.5.2019	Budget FIN											
	2222	Budget SE		167	167	167	167	167	167	333	333	333	333
Safety Stock	0	Budget NL											
Stock BV	0	Budget DK											
Q_Stock BV	0	Budget FR											
Stock NL	0	Budget UK											
Stock UK	0	Budget PL											
Stock UK		Budget US											
Q_Stock PL		Budget RU											
Q_Stock PL		Budget LAT											
Stock US		Budget LT											
Q_Stock US		Budget EE											
Agreement	Product	Budget EXPORT											
Lead Time		Budget UKR											
Production list													
Quantity - Week													
Budget CZ													
Budget SK													
Budget HU													
Budget IT													
Budget HR (Croatia)													
Budget TOTAL				167	167	167	167	167	333	333	333	333	333
Orders									6				
Purchasing Order 1	Delivered			234	190	186	126	522					
	Stock Forecast							2004	1787	1669	1361	1133	916
Purchasing Order 2	Product ends												
	Production forecast												
	Delivered/budgeted												
Produced				140%	127%	122%	110%	151%	126%	95%	76%	63%	54%
	Stock end of the month			1651	1448	2870	2744						

Kuva 22.5. *Alias SE tulokset lopullisella työkalulla.*

Alpha History		Alpha		Previous		Log Total		2019	
Art.No. 53198 Group: 03		Q1 Sold Q1 2019: 298		Q2 Sold Q2 2019: 97		Q3 Sold Q3 2019: 356		Q4 Sold Q4 2019: 1562	
Name: Atlas Party (FI)		Budget:		Budget:		Budget:		Budget:	
Class. 02568 Add Budget		1 2 3 4		5 6 7		8 9 10		11 12	
24.5.2019		80 80		80 80		80 80		200 200	
Updated Stock 1893		Budget SE		Budget RU		Budget US		Budget EE	
O_Stock 12		Budget NO		Budget UK		Budget HR		Budget CZ	
Safety Stock 0		Budget NL		Budget FR		Budget PL		Budget US	
O_Stock EV 0		Budget FR		Budget UK		Budget PL		Budget US	
O_Stock NL 0		Budget FR		Budget UK		Budget PL		Budget US	
O_Stock UK 0		Budget PL		Budget US		Budget EE		Budget EXP/OT	
O_Stock US 0		Budget EE		Budget EXP/OT		Budget UKR		Budget HU	
Lead Time Production		Budget UKR		Budget CZ		Budget UK		Budget RO	
Production list		Budget HU		Budget UK		Budget RO		Budget PL	
Quantity - Week 1000 - 35		Budget HR (Croatica)		Budget TOTAL		80 80 80 80 80 80 80 200 500 500 500 2760		12 95	
Purchasing Order 1		Delivered		Stock Forecast		1560 1227 894 561 227 -109 -439 -772		772 772 772	
Purchasing Order 2		Produced orders		Production forecast		39% 23% 28% 27% 24% 20% 17% 13% 8% 6% 5% 4%		1880 1874 1844 1901	

Periodi	Valmistus
1	320
2	0
3	0
4	0
5	440
6	0
7	0
8	0
9	2000
10	0
11	0
12	0
	2760

Fixed Period Demand

Kuva 22.6. *Party FI tulokset lopullisella työkalulla.*

[illegible]

Periodi	Valmistus
1	800
2	0
3	3533
4	3533
5	20200
6	2550
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
	30616

Wagner-Whitin algor.

Kuva 22.7. Party RU tulokset lopullisella työkalulla.

























[illegible]

























Periodi	Valmistus
1	0
2	0
3	0
4	0
5	100
6	0
7	1600
8	0
9	2000
10	0
11	2000
12	0
	5700

Wagner-Whitin algor.

Kuva 22.8. *I am Alias SE tulokset lopullisella työkalulla.*

Layout: History

View As:                        

MENU                        

Art.No.	55107	Group:	03	Q1	Q2	Q3	Q4										
Name:	Late Night Alias (PL)	Sold Q1 2019:		456	Sold Q2 2019:		251	Sold Q3 2019:		553	Sold Q4 2019:		433				
Class:	54855	Department:	PL	Budget:		Budget:		Budget:		Budget:							
Org.:	FI	Export:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Add Budget																	
Sold 2018																	
Sold 2017																	
Budget FIN																	
Budget SE																	
Budget NO																	
Budget DK																	
Budget NL																	
Budget FR																	
Budget UK																	
Budget PL																	
Budget US																	
Budget RU																	
Budget LAT																	
Budget LIT																	
Budget EE																	
Budget EXPORT																	
Budget UKR																	
Budget CZ																	
Budget SK																	
Budget HU																	
Budget RO																	
Budget IL																	
Budget HR (Croatia)																	
Budget TOTAL																	
Orders																	
Delivered																	
Stock Forecast																	
Product ends																	
Production forecast																	
Delivered/budgeted																	
Produced																	
Stock end of the month																	

Updated 28.5.2019

Stock 1596

Q_Stock 0

Safety Stock 0

Stock BV 0

Q_Stock BV 0

Stock NL 0

Stock NL 0

Stock UK 0

Q_Stock UK 0

Stock PL 713

Q_Stock PL 14

Stock US 0

Q_Stock US 0

Replenish Lead Time

Production list

Quantity - Week

Purchasing order 1	Delivered	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
--------------------	-----------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Periodi	Valmistus
1	600
2	0
3	0
4	0
5	200
6	0
7	0
8	0
9	400
10	0
11	0
12	0
	1200

Fixed Period Demand

Kuva 22.9. Late Night Alias PL tulokset lopullisella työkalulla.

Layout: History															
View As:															
MENU															
Art.No.	53367	Group:	03	Q1	Q2	Q3	Q4								
Name:	Alias Family (RU)			Sold Q1 2019:	456	Sold Q2 2019:	251	Sold Q3 2019:	553	Sold Q4 2019:	433	Locked			
Class:	40155 Department: RU			Budget:		Budget:		Budget:		Budget:					
Org.	FI	Export:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Add Budget														
				1090	3456	2531		3132	1152	1254	4224	106			16945
				12	8	51	13	782	2920	6800	1560	888	3840		14354
Updated	28.5.2019	Budget SE													
Class:	1648	Budget FIN													
Q_stock		Budget SE													
Safety Stock	0	Budget DK													
Q_Stock BV	0	Budget NL													
Q_stock BV	0	Budget FR													
Stock NL	0	Budget UK													
Q_Stock NL	0	Budget PL													
Stock UK		Budget US													
Q_Stock UK		Budget RU													
Stock PL		Budget LAT				7000		4333	4333	4333					20006
Q_Stock PL		Budget LIT													
Stock US		Budget EE		100	100	100									
Q_Stock US		Budget EXPORT													300
Refresh		Budget UKR													
Lead Time	Production	Budget CZ													
		Budget SK													
		Budget HU													
		Budget RO													
		Budget IL													
		Budget HR (Croatia)													
		Budget TOTAL		100	100	100	7000	4333	4333	4333					20300
		Orders													
Purchasing Order 1		Delivered		60	3996	1920	1536								7512
		Stock Forecast						50	-1548	-3147	-4748	-6344	-7943	-9541	-11140
Purchasing Order 2		Product ends													
		Production forecast						11140	11140	11140	11140	11140	11140	11140	11140
		Delivered/budgeted													
		Produced		50%	2028%	1992%	1992%	103%	103%	65%	47%	37%	37%	37%	
		Stock end of the month		9100	5104	3184	3184								

Periodi	Valmistus
1	300
2	0
3	0
4	0
5	700
6	7000
7	0
8	4333
9	4333
10	4333
11	0
12	0
	20999

Wagner-Whitin algor.

Kuva 22.10. Family RU tulokset

pieniä W-W-menetelmän sijoittuminen taulukossa jokaisella rivillä sijalle 1 tai 2 kertoo menetelmän sopivan keskenään erilaisten budjettien valmistuserien suunnitteluun.

Taulukko 2. *Koontitaulukko, jossa menetelmien välinen vertailu, suositellut valmiserien lukumäärät.*

Tuote	LFL	FPD	WW	vuositarve	valmistuseriä vuodessa (1.)
Alias FI	3	1	2	8400	6
Alias SE	3	1	2	3000	4
Alias NO	3	1	2	5700	4
Alias RU	2	3	1	20201	3
Alias Jr NO	3	1	2	9000	6
Party FI	3	1	2	2760	3
Party RU	2	3	1	30316	5
I am Alias SE	3	2	1	5700	4
Late Nigth Alias PL	3	1	2	1200	3
Family Alias RU	2	3	1	20999	6
Järjestyksen keskiarvo	2,70	1,70	1,60		

Tavoitetunnusluvun merkitys on suuri. Vuoden 2018 pelkän valmistuksen tunnusluku oli suurempi kuin simuloinnin avulla saatu yhteinen yksikkökustannuksen tavoiteluku. Nykyinen käytäntö tuotteiden valmistuksessa muistuttaa osittain Lot For Lot -menetelmää ja toisaalta Fixed Period Demand -menetelmän ominaisuuksia periodien yhdistämisessä. Varastoinnin tarkat kustannukset peliä kohti puuttuvat vuodelta 2018, mutta arvioitu keskimääräinen varastointiaika tuotetta kohti toimivan budjetin tuotteella on noin 4 kuukautta [4].

4.2 Tulosten arviointi

Tulosten arvioinnissa tarkastellaan työkalun käyttämistä tuotannonsuunnittelun apuna. Lisäksi tulosten arvioinnissa esitetään työkalun käytöllä saatavaa hyötyä. Tämä hyöty on laskennallinen mahdollisuus, joka vaatii käytännön toimenpiteitä ja muutoksia näkyäkseen kassavirrassa.

4.2.1 Simulointityökalu

Simulointityökalun käyttö on suhteellisen helppoa ja nopeaa. Yhden tuotteen kohdalla aikaa menee noin 1-2 minuuttia tarvittavien kustannusten saamiseen vertailutaulukkoon. Käyttäjän on huomioitava seuraavat seikat:

- Käyttäjän on tarkastettava LFL -välilehdeltä asetuskustannusten oikeellisuus, jos budjetissa on nolla- periodeja.
- FPD -välilehti toimii moitteettomasti koko ajan.
- W-W -välilehdellä käyttäjän on käytävä simulointitaulukon perusteella syöttämässä allokointitaulukkoon valmistuserät.

Työkalun käyttö ei vaadi perehtymistä menetelmien toimintaa. Edellä mainitut toimenpiteet, jotka käyttäjän on tehtävä, ovat helposti opittavaa rutiinia. Työkalu soveltuu Service Centerin käyttöön sekä tuotantoon tuotantosuunnitelman laatimiseen.

4.2.2 Menetelmien välinen vertailu

Kuten edellä todettiin, nykyisin käytössä oleva tapa on LFL:n ja FPD:n sekoitus allokointimenetelmänä. Testitulokset osoittavat, että ne soveltuvat osaan tuotteista oikein hyvin. Suurin ero kustannuksissa tulee isojen budjettien tuotteilla (taulukko 3), jolloin W-W -menetelmä on selvästi paras. Budjettiin perustuvassa kysynnässä, jossa tilauksia on suunnitteluvaiheessa selkeästi budjetteja pienempi osuus, saadaan suuri hyöty W-W:n optimoinnilla.

Vertailtaessa staattisia sekä dynaamisia menetelmiä huomattiin, että testin ainoa staattinen menetelmä ei toiminut hyvin kohdeympäristössä. Dynaamisten menetelmien sisäisessä vertailussa optimointimenetelmäksi luokiteltu W-W -menetelmä toimi lähes yhtä hyvin kuin heurististen menetelmien paras vaihtoehto, eli Silver-Meal -menetelmä. W-W -menetelmän sijoittaminen kohdeympäristöön oli helpompaa.

4.2.3 Yksikkökustannuksen pieneneminen

Käyttämällä tässä työssä käytetyn simulointityökalun tapaista menetelmää pystytään tekemään suuria säästöjä vuositasona. Nykyinen käytäntö kohdeyrityksessä ei anna realistisia tavoitteita tunnusluvuille. Valmistuserien suunnittelu tehdään ensisijaisesti arvaamalla ja toivomalla parasta. Jo pelkän Alias-ryhmän kohdalla pystytään puolittamaan valmistuksen ja varastoinnin yhdistetty yksikkökustannus.

Teoreettisten tulosten mukaan säästö Alias-ryhmän kohdalla on vuoteen 2018 verrattuna noin 50 %. Ottaen huomioon riskit budjetoinnissa, tuotannon häiriöt ja kaikki muu hävikki, joka esiintyy normaalissa toiminnassa, voidaan silti asettaa tavoitteeksi hyvin suunnitteleamalla hakea noin 30 % säästöä.

Jos säästöä verrataan projektiin, jossa halutaan nipistää 1 sentti jokaisesta tuotteesta, joka lähtee ulos yrityksestä. Tämä 0,01 EUR:n säästö ei tunnu suurelta tuotteessa, jonka omakustannehinta on muutamia euroja, mutta huomioidessa yrityksen myyvän 6,7 miljoonaa tuotetta vuodessa, tulee tästä 1 sentistä ihan kohtuullinen luku, eli kymmenien tuhansien säästöä vuodessa.

Tämän simulointityökalun avulla voidaan saavuttaa 30 % säästöä valmistus- ja varastointikustannuksissa. Jos simulointityökalulla saatava säästö kohdistetaan koko pelituotantoon, tämä 30 % säästö on huomattavaluku vuodessa.

4.2.4 Säästön toteuttaminen

Numeerinen säästö taulukossa on saatava näkymään yrityksen päivittäisessä toiminnassa. Valmistuserien optimoinnin avulla saadaan säästöt konkretisoitumaan ylivarautumisen välttämällä, materiaalihankinnan tehostamisella ja henkilöstökustannusten avulla.

Ylivarautuminen budjetteihin ylläpitää varmuusvarastoja eri tuotteille varastossa. Ne on saatettu valmistaa tuotantotehokkaasti isoina erinä, mutta varastointikustannus nousee suuremmaksi kuin valmistuskustannus. Ylivarautumisen lopettaminen valmistuserien optimoinnin avulla kohdistaa tuotannon valmistamaan oikeita tuotteita, koska kapasiteetti on oikeassa käytössä. Tällöin tulee vähemmän tuotantojärjestyksen muutoksia. Tämä parantaa tilannetta, jossa omien osien valmistus saattaa olla suunniteltu liian aikaiseen tai linjalla menevät työt odottavat kiireellisempiä pelinosia.

Materiaalihankinnat pystytään tekemään suunnitellun erävalmistuksen mukaisesti. Tällöin jää ylivarautuminen pois. Ostot kohdistuvat tarkemmin valmistuseriin, jolloin myös rahaliikenne kohdistuu lähemmäksi myyntitoimituksia.

Henkilöstökulut saadaan pienenemään vähentämällä kausihenkilöstöä. Vuokra- tms. väliaikaiset henkilöt kuormittavat yrityksen taloutta ja heillekin joudutaan väliaikaisesti etsimään korvaavaa työtä erilaisissa odotustilanteissa.

4.2.5 Tutkimuksen teorian tarkastelu

Alaluvuissa 2.3 ja 2.4.1-2.4.8 käsitellään tutkimuksen kohteena olevien optimointimenetelmien teoriaa. Optimointimenetelmät sisältävät perusteita, miksi ne soveltuvat tietyn tyyppisen tuotannon optimointiin. Optimointiteoriat sisältävät myös rajoitteita, kuten esimerkiksi EBQ -menetelmä [7]. Nämä rajoitteet ovat johtaneet uusiin joustavampiin optimointimenetelmiin. Teorian mukaisesti optimointi menetelmät voidaan jakaa staattisiin sekä dynaamisiin menetelmiin. Dynaamiset menetelmät voidaan jakaa yksinkertaisiin, optimoiviin sekä heuristisiin menetelmiin [19].

Tutkimus osoitti, että työn perustana ollut staattinen EBQ -menetelmä ei sovellu dynaamiseen tuotannonsuunnitteluun, kuten teoria viitoitti. Yksinkertaista LFL-menetelmää suositeltiin harvoin tehtäville reaaliaikaisille tilauksille. Tutkimustulos tukee tämän teorian toteutumista. Harvoin tehtäville asiakastöille paras optimointimenetelmä on tässä tutkimuksessa LFL -menetelmä. Dynaamisista menetelmistä optimointiin soveltuva Wagner-Whitin -menetelmä ja Silver-Meal-menetelmä ovat teoreettisesti kattavampia sekä niiden hyödyntäminen taulukkolaskennan toteutusympäristössä on ollut monipuolista [22]. Tutkimus osoitti, että nämä menetelmät soveltuvat parhaiten simulointiympäristöön. Tässä tutkimuksessa W-W-menetelmä soveltui käyttöympäristöön paremmin kuin SM-menetelmä. LFL-perusteinen FPD-menetelmä oli teorian mukaan paras LFL-menetelmän jatke. Käytännössä se toimikin paremmin kuin LFL-menetelmä dynaamisen kysynnän kohdalla.

Tutkimuksessa käytettävistä optimointimenetelmien lähdeaineistoista löytyi aiempia yksittäisiä malliratkaisuja tutkimuskohteena olevan optimointityökalun rakentamiseksi. Nämä yksittäiset malliratkaisut olivat videoita tai valmiita ohjelmoituja koodeja tiettyjen optimointimenetelmien käyttämisestä esimerkiksi taulukkolaskentaympäristössä. Tämän tutkimuksen ratkaisuksi saatu optimointityökalu perustuu aiempien yksittäisten mallien yhdistämiseen yhteiseksi työkaluksi ja rakentamalla vertailuun tarkoitettu ”planner”.

4.3 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

1. Simulointityökalun täydentäminen

Simulointityökalu kannattaa ottaa käyttöön kaikilla tuoteryhmillä. Tällä hetkellä se kattaa noin 50 % pelilinjan valmistuksesta. Tehdyt testaukset työkalun osalta kertovat sen soveltuvan yhtä lailla tuotantoon kuin myyntiosaston Service Centerille. Koekäytön jälkeen työkalun saattaminen koko tuotannon suunnitteluun ei vaadi kuin loppujen tuoteryhmien jalostusketjun kuvausten tekemisen. Lisäksi kaikki yhdeksän menetelmää kannattaa automatisoida työkalun käyttöön, jolloin simuloinnin laatu paranee.

2. Tunnusluvut

Nykyisistä tunnusluvuista kannattaa jättää tunnusluku, joka kertoo valmistuneiden pelien määrän yhtä henkilön työtuntia kohti. Valmistuksen oman yksikkökustannuksen, eli valmistuskustannukset / peli, käyttö kannattaa muuttaa yhdistetyksi varastoinnin ja valmistuksen yksikkökustannukseksi. Simulointi antaa luvulle tavoitearvon ja tuotteen lähdettyä varastosta sitä verrataan toteutuneeseen yksikkökustannukseen. Toteutuneessa kustannuksessa on huomioitu valmistuksen lisäksi todellinen varastoinnin aika.

3. Varautuminen säästöön käytännössä

Tavoiteltaessa säästöjä tulee niihin valmistautua etukäteen. Tämä tarkoittaa henkilöstön joustavuuden merkitystä. Kuten tulosten arvioinnissa esiteltiin, väliaikaistyövoiman käyttöä tulee pienentää ja siihen on optimoinnilla mahdollisuus. Oman vakituisen henkilöstön kanssa on sovittava joustojen käytöstä joustosopimuksen avulla. Jouston varautumiseen tehdyt joustosopimukset on pystyttävä ottamaan käytäntöön suunnitellulla tavalla, jolloin se voidaan huomioida tuotannonsuunnittelussa.

4. Budjettien oikeellisuuden merkitys

Simulointityökalun merkitys on selvitettävä myynnille ja kaikille budjettien tekijöille. Budjetin laatijan on tiedostettava säästömahdollisuuden suuruus, jos tuotteet tehdään optimoidussa suunnitelmassa. Budjetoijan ymmärtäessä osuutensa summaan, joka on mahdollista säästää, hänen tulee tehdä realistisia ja oikea-aikaisia budjetteja.

5. Viikkoraportit ja hukan poisto

Tätä työtä varten viikkoraportteja käytettiin oikeiden valmistusaikojen selvittämiseksi. Viikkoraportit toimivat hyvänä työkaluna myös hukan poistossa ja käyttöasteen nostamisessa. Tätä projektia kannattaa jatkaa. Konekohtaisesti selvitetään, mistä koostuu kyseisen koneen aikahävikki ja kuinka saadaan käyttöaste nousemaan.

5. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin yksinkertaisen työkalun kehittäminen tuotannon suunnitteluun dynaamisen kysynnän toteuttamiseksi lautapelejä valmistavassa yrityksessä. Yrityksen valmistus perustuu budjettien ja suorien asiakastilausten antamiin määrätietoihin. Työ rajattiin toimimaan taulukkolaskennan toteutusympäristössä ja työn aikana tehdyissä testauksissa keskityttiin vain yhden formaatin, eli "Alias-ryhmän" tuotteiden vertailuun. Kyseisen formaatin pelit kattavat tällä hetkellä noin puolet yrityksen pelinvalmistuksesta. Työ huomioi varastoinnin ja tuotannon sisäiset kustannukset.

Työkalun toteuttaminen päätettiin tehdä numeerisen simuloinnin avulla. Simuloinnissa verrattiin erilaisten valmistuseräkoon mallinnusmenetelmien antamia ehdotuksia valmistuserien suunnittelemiseen. Ennen simulointityökalun valmistamista esi-valmisteluina toteutettiin konekohtainen seuranta viikkoraporttien avulla. Viikko-raporteista saatiin oikeat valmistusajat kustannuslaskentaa varten. Samanaikaisesti tehtiin "Alias-ryhmälle" jalostusketjun kuvaus, jonka perusteella saatiin selville yhteen peliin käytetty valmistusaika koneittain sekä yhteenlaskettu kokonaisaika peliä kohti tekemällä polut jokaiselle pelin osalle. Valmistuksen yksikköhintaa varten selvitettiin yrityksen sisäisistä raporteista konekohtaiset tuntihinnat. Sisäiset asetuskustannukset perustuivat tehtyyn työajan mittaukseen, jonka mukaan laskettiin keskiarvo asetukseen käytetylle ajalle. Tässä työssä laskettiin vielä erikseen asetuskustannuksen kerroin, joka perustuu suurimman kustannustekijän, eli pelilinjan tuotantoajojen yhdistämiselle. Kohdeyritys pyrkii minimoimaan pelilinjan kuntoonlaitot valmistamalla yhden viikon jaksoissa samaa formaattia olevia eri pelejä. Tämän avulla saatiin sisäisille asetuskustannuksille kerroin pelilinjaa varten (0,11). Varastointikustannukset laskettiin yrityksen sisäisistä raporteista keräämällä tarvittavat kustannukset.

Työkalua varten valittiin ensimmäistä testikäyttöä varten yhdeksän menetelmää. EBQ, optimaalisen valmistuksen eräkoon määrittäminen, oli menetelmistä ainoa staattiseen, eli tasaiseen kysyntään soveltuva menetelmä. Muut kahdeksan menetelmää soveltuivat dynaamiseen ympäristöön. Valituista dynaamisista menetelmistä luokitellaan yksinkertaisiksi Lot For Lot-, Period Order Quantity- ja Fixed Period Demand-menetelmät. Optimointimenetelmistä valittiin Wagner-Whitin menetelmä ja Heuristisista menetelmistä valittiin Least Unit Cost-, Least Total Cost-, Part Period Balancing- sekä Silver-Meal-menetelmät. Menetelmät laskivat oman ehdotuksen valmistuserien koolle sekä lukumäärälle ja antoivat valmistuksen sekä varastoinnin yhteiset kustannukset.

Työn toteutus tapahtui taulukkolaskentaan perustuvan tiedoston välilehdillä. Etulehdelle, joka nimettiin ”planneriksi”, tehtiin esitetyt taulukot, johon haettiin manuaalisesti FileMaker -tuotannonohjaus-järjestelmästä budjetit. Jokaiselle yhdeksälle vertailtavalle menetelmälle tehtiin omat välilehdet, jotka saivat plannerin budjettitiedot automaattisesti. Varsinaista menetelmien simulointia varten tehtiin jokaiselle välilehdelle omat tarvittavat taulukot, joilla menetelmät toimivat taulukkolaskennan toteutusympäristössä. Välilehtien toiminnassa heuristiset menetelmät vaativat eniten käyttäjän huomiota. Yhdeksän eri menetelmää antoivat budjeille oman ehdotuksen edullisimmasta valmistuksen toteuttamisvaihtoehdosta sisältäen kustannukset ja valmistuserien allokoinnin. ”Planneriin” palautettiin automaattisesti jokaisen menetelmän paras ehdotus varastoinnin sekä valmistuksen yhteiskustannuksista. ”Plannerilla” kustannustiedot lajiteltiin paremmuusjärjestykseen menetelmittäin ja minimifunktion avulla tuotiin automaattisesti parhaan ehdotuksen antaneen menetelmän valmistuserien allokointi ”plannerille”.

Testikäytön jälkeen työkalun käyttökokemuksen perusteella valittiin parhaiten taulukkolaskennan toteutusympäristössä toimivat menetelmät, jotka sopivat tulevaan käyttöympäristöön. Tavoitteena oli saada työkalun käyttö mahdollisimman nopeaksi ja yksinkertaiseksi. Testissä otettiin huomioon se, että yrityksen nykyinen valmistuksen allokointi perustuu LFL- ja FPD- menetelmiin ilman vertailua, eli päätös valmistuksesta tapahtuu arvioimalla. Sovittiin, että työkaluun otetaan näiden kahden lisäksi menetelmä, joka on helppokäyttöinen ja se poikkeaa ominaisuuksiltaan LFL:stä ja FPD:stä. Lopullinen valinta jäi Silver-Meal menetelmän ja Wagner-Whitin menetelmän väliseksi. Lopulliseen työkaluun valittiin W-W-menetelmä. W-W-menetelmän toimiminen taulukkolaskennan toteutusympäristössä oli varmempaa ja helpompaa käyttäjäkokemuksen perusteella. Tulevat työkalun käyttäjät pystyivät omaksumaan välilehdellä tapahtuvan allokointi- rutiinin nopeasti ja se ei vaatinut menetelmien tarkempaa tuntemista.

Valitulla simulointityökalulla tehtiin tätä työtä varten toinen testaus kymmenen erilaisen budjetin omaavan tuotteen simuloinnilla tuotannon suunnittelua varten. Tuloksista huomattiin, että parhaan ehdotuksen antoivat FPD (6 kertaa) ja W-W (4 kertaa). LFL soveltuu yleisesti tilausperäiseen kysyntään edellyttäen materiaalikustannusten olevan suuret. Näitä ehtoja ei ollut testattujen budjettien peleissä. WW soveltui testissä hyvin vientibudjetteihin. Niiden ominaisuutena on ainakin yksi suurempi kysyntäperiodi ja testattujen pelien kokonaisbudjetit olivat vuositasolla suuria. FPD soveltui pieniin sekä keskikokoisiin ja tasaisiin budjetteihin. Testin ongelmana oli se, että pienet ja tasaiset budjetit ovat varhaisemman kokemuksen perusteella epävarmimpia toteutumaan.

Kymmenen tuotteen simuloinnilla saatiin valmistukselle ja varastoinnille yhteinen yksikkökustannus / peli. Luku on huomattavan pieni, kun sitä verrataan nykyiseen valmistuksen omaan tunnuslukuun peliä kohti ja etenkin kun valmistuksen tunnuslukuun lisätään vuoden 2018 tilaston mukaiset varastointikustannukset toimivalla budjetilla. Säästö on teoreettisesti vuoteen 2018 verrattuna 50 % peliä kohti. Riskin ja hukan huomioinninkin jälkeen voidaan realistisesti odottaa 30 % säästöä. Tämä merkitsee vuositasolla lähes kuusinumeroista lukua, joka voidaan säästää.

Simulointityökalu kattaa tällä hetkellä noin 50 % valmistettavista peleistä. Työkalu kannattaa täydentää kattamaan kaikki pelit. Työkalun laajentaminen vaatii ainoastaan eri formaateille tehtävät jalostusketjujen kuvaukset. Jos työkalun toimintaa haluaa laajentaa varmemmaksi, kannattaa lisätä kaikki yhdeksän menetelmää automatisoituna lopulliseen työkaluun.

Simuloinnin kannalta on oleellista, että budjetit ovat oikein tehtyjä. Yrityksen kannalta myynnin kasvun tavoittelu on tarpeellista omana työnään, mutta tuotannon suunnittelu kaipaa realistista ennustetta enemmän kuin tavoitetta. Varautuminen onnistuneeseen myynnin kasvuun pystytään simulointityökalun ansiosta tekemään vaihtoehtoiseksi rinnakkaismalliksi.

Tämän työn perusteella suosituksena on ottaa käyttöön valmistuksen ja varastoinnin yhteinen tunnusluku kertomaan kustannukset / peli. Se on helposti mitattavissa ja sen käyttö kertoo enemmän kannattavuudesta kuin osastojen omien tunnuslukujen käyttö. Tuotanto pystyy parantamaan omaa tunnuslukua valmistusmäärien nostolla, joka heikentää varaston tunnuslukua. Tunnuslukujen oikeellisuus on tärkeää myynnin hinnoittelussa. Jos tehdään erityshinnoitteluita, on pystyttävä hinnoittelemaan työ oikeiden kustannusten mukaan.

Työn aikana käytettiin viikkoraportteja oikeiden työaikojen ja -kustannusten laskemiseen. Viikkoraportit palvelevat myös yrityksen tehostaessa hukan poistoa. Viikkoraportit ja niihin lasketut realistiset valmistusajat antavat perusteen selvittää mahdollinen alhainen käyttöaste.

Diplomityön tutkimuskysymyksinä selvitettiin mitkä valmistuserien mallinnusmenetelmät toimivat parhaiten kohdeympäristössä, mitkä valmistuserien mallinnusmenetelmät kannattivat valita tämän hetkiseen työkaluun ja mikä kustannusvaikutus saatiin optimoimalla valmistuseriä.

Tutkimuksen jälkeen tiedettiin luotettavimpien sekä kustannustehokkaimpien menetelmien olevan S-M ja W-W. Kohteena olevaan käyttöympäristöön soveltuivat

parhaiten LFL, FPD ja W-W. Kustannusvaikutus tulee olemaan noin 30% säästö verrattuna nykyisiin kustannuksiin.

Tutkimusongelmana oli saada vastaus kysymykseen, kuinka voidaan valmistuseriä optimoida hakien säästöä tuotanto- sekä varastointikustannuksissa. Tutkimusongelman ratkaisuksi kehitettiin simulointityökalu monimuotoisen tuotannon kustannus-tehokkaaseen optimointiin. Tutkimuksen aikana vertailtiin erilaisia optimointimenetelmiä. Nämä tutkitut optimointimenetelmät jakaantuivat staattisesta dynaamisiin menetelmiin ja yksinkertaisista heuristisiin. Eli on syytä uskoa, että tutkinnan kohteena oli riittävä määrä eri kategorian optimointimenetelmiä. Lopullinen optimointityökalu soveltuu käyttöympäristöön hyvin. Siihen valitut optimointimenetelmät ovat käyttäjän kannalta helppokäyttöisiä, mutta kuitenkin sisältävät riittävän monipuolisen vertailun. Lopullinen optimointityökalu mahdollistaa huomattavan säästön, joten sen käyttäminen vastaa tutkimukselle annettua tavoitetta.

LÄHTEET:

- [1] Tactic Games Oy, myyntitilastot vuosilta 2014-2018.
- [2] Lukka, Kari 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Viitattu 6.9.2019.
www.metodix.com. [Menetelmäartikkelit](#).
- [3] Korte, Tapio: Filosofian keskeistä terminologiaa Johdatus filosofiaan. Turun yliopisto. Viitattu 6.9.2019.
- [4] Tactic tuotanto tehokkuus luvut (xls- tiedosto).
- [5] Karrus, Logistiikka, Porvoo: WSOY, 1998.
- [6] Sakki, Tilaus-toimitusketjun hallinta; B2B –Vähemmällä enemmän, omakustanne, 2009.
- [7] Haverila ym., Teollisuustalous, 2009.
- [8] Toimitusehdot/Graafinen_teollisuus_toimitusehdot.pdf
- [9] Krajewski & Ritzman & Malhotra, Operations Management, 2007.
- [10] Väisänen, J. 2013. VSM (Value Stream Mapping) Arvovirtakuvaus. Www-dokumentti. Saatavissa. <http://www.gk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/>. Viitattu 3.5.2019.
- [11] Oppimateriaali, Tampereen Yliopisto; Lean Management, vuodelta 2017.
- [12] Lawrence & Snyder, A tight approximation for an EOQ model with supply disruptions, 2013, artikkeli.
- [13] Khan & Jaber & Guiffida & Zolfaghari, A review of the extensions of a modified EOQ model for imperfect duality items, 2010, artikkeli.
- [14] Jamal ym., Optimal manufacturing batch size with rework process at a single stage production system. Computers & Industrial Engineering, 2004.
- [15] Wagner, H.M. and Whitin, T.M. (1958) Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. Management Science.

- [16] Hiresh, S & Haibat Alah, S & Hiwa, F, A heuristic algorithm for determine the lot sizeeconomic order with finite production capacity, 2008, artikkeli
- [17] Nydick Jr RL, Weiss HJ (1989) An evaluation of variable-demand lot sizing techniques. Production and Inventory Management, 30, 4: 41-48
- [18] Bahadir Akyuz & Adriana Araújo & Leonilde Varela & António Monteiro, Management Tool based on MRP and Lot-sizing – A case study for comparing different cases, 2016, artikkeli.
- [19] <https://sites.google.com/site/operasiproduksi/perencanaan-kebutuhan-bahan>, web-sivu, käytetty 7.5.2019.
- [20] Swati Singh, Evaluation of Different Lot Sizing Techniques in a MRP System, 2017, artikkeli.
- [21] Hong-Mo, D, 367_ErpBook, chapter 7, 2014.
- [22] 2019 University of New Haven. Powered by the Acalog™ Academic Catalog Management System™ (ACMS™), IE652, chapter 6,
- [23] Vaish, K, Excel Modeling for Wagner Whitin algorithm, 2012, artikkeli
- [24] Ahn, H, Inventory Control with Time-Varying Demand, 2011, opetusmateriaali
- [25] Tactic Games Oy, yrityksen sisäiset tilastot 2018-2019

LIITE 1: ALOITUSHAASTATTELUN POHJA

Tutkimuksen aloitushaastattelun haastattelupohja:

1. Diplomityön taustat ja esittely

- a. Haastattelija esittelee diplomityön taustan ja tarkoitukset
- b. Haastattelija esittelee haastattelututkimuksen etenemisen pääpiirteissään

2. Diplomityön rajaaminen ja kohdistaminen

- a. Tutkimukseen valittava tuoteryhmä
- b. Tutkimuksen sidosryhmät
- c. Tutkimuksen lopputuotteen käyttäjät

3. Diplomityön tavoitteet

- a. Tutkimuksen tärkeimmät tavoitteet
- b. Odotukset valmiilta lopputuotteelta

LIITE 2: KÄYTTÄJÄKOKEMUSHAASTattelun POHJA

Haastattelu käyttäjäkokemusten selvittämiseksi:

1. Käytössä huomioitavat seikat
2. Välilehtien käyttämisen vaikeusaste
3. Välilehtiin käytetty aika
4. Välilehtien toiminnan oikeellisuus
5. Välilehtikohtainen erittely perehdytystarpeesta ja halusta

LIITE 3: LUC-MENETELMÄN RAKENNE

D = kk- budjetti	20201
1	67
2	67
3	67
4	5000
5	15000
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0

Asetuskustannus	533*b
Varastokustannus	0,3*b
<u>Valmistus / kpl</u>	<u>b</u>
Alkuvarasto	0
Varmuusvarasto	0

Yhdistelmä	Asetus	Varastointi	Yhteensä	Eräkkö	a'-kust
1	533*b	0,00 €	533*b	400	1,3*b
1,2	533*b	123*b	656*b	800	0,8*b
1,2,3	533*b	369*b	902*b	1200	0,7*b
1,2,3,4	533*b	738*b	1272*b	1600	0,8*b

LIITE 4: LTC-MENETELMÄN RAKENNE

D = kk- budjetti	20201
1	67
2	67
3	67
4	5000
5	15000
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0

Asetuskustannus	533*b
Varastokustannus	0,3*b
<u>Valmistus / kpl</u>	<u>b</u>
Alkuvarasto	0
Varmuusvarasto	0

Periodi	Eräkoko	V-periodi	Varastokust.	Asetus	Yhteensä	LTC
1	400	0	0,00 €	533*b	533*b	533*b
1,2	800	1	123*b	533*b	656*b	410*b
1,2,3	1200	2	369*b	533*b	902*b	164*b
1,2,3,4	1600	3	2400*b	533*b	2933*b	1867*b

LIITE 5: FPD-MENETELMÄN RAKENNE

FPD (n)			
Periodi	Alkusaldo	t = 2	Loppusaldo
1	0	134	67
2	67		0
3	0	5067	5000
4	5000		0
5	0	15000	0
6	0		0
7	0	0	0
8	0		0
9	0	0	0
10	0		0
11	0	0	0
12	0		0
20201			

LIITE 6: WW-MENETELMÄN RAKENNE

Kustannus	Kuukausi					
	1	2	3	4	5	6
1	533*b	656*b	902*b	1459*b	1764*b	2379*b
2		1067*b	1190*b	1436*b	1805*b	2498*b
3			1190*b	1313*b	1559*b	1928*b
4				1436*b	1559*b	1805*b
5					1805*b	1928*b
6						2092*b

b = valmistuksen yksikkökustannus

LIITE 7: SM-MENETELMÄN RAKENNE

J	Periodi	Asetus	V- a' hinta	budjetti	varastointi	Seurataan k	suunniteltu eräkkö
1	1	533*b	0,3*b	400	0,00 €	533*b	400
2	1,2	533*b	0,3*b	400	123*b	328*b	800
3	1,2,3	533*b	0,3*b	400	123*b	301*b	1200
4	1,2,3,4	533*b	0,3*b	400	123*b	287*b	1600
5	1,2,3,4,5	533*b	0,3*b	400	123*b	279*b	2000
6	1,2,3,4,5,6	533*b	0,3*b	400	123*b	274*b	2400
7	1,2,3,4,5,6,7	533*b	0,3*b	400	123*b	270*b	2800
8	1,2,3,4,5,6,7,8	533*b	0,3*b	800	246*b	374*b	3600

1	8	533*b	0,3*b	800	0,00 €	533*b	800
2	8,9	533*b	0,3*b	1200	369*b	451*b	2000
3	8,9,10	533*b	0,3*b	1200	369*b	547*b	3200

1	10	533*b	0,3*b	1200	0,00 €	533*b	1200
2	10,11	533*b	0,3*b	1200	369*b	451*b	2400
3	10,11,12	533*b	0,3*b	1200	369*b	547*b	2800

1	12	533*b	0,3*b	1200	0,00 €	533*b	1200
---	----	-------	-------	------	--------	-------	------

b = valmistuksen yksikkökustannus

LIITE 8: ESIMERKKI VIIKKORAPORTISTA

VIKKO 32 / 2019

Valmistuneet kirjat	3339	kpl		Kapasiteetti	5 vuoroa
Valmistuneet pelikortit	20010	pk		huomioiden	5 vuoroa
Tuotetut digipainoarkit 1-v	409788	a		kuntoonlaitot:	5 vuoroa
Tuotetut digipainoarkit 4-v	72569	a			5 vuoroa
Tuotetut painopinnat B1	141639	a	53 kpl / 18 h	182500	5 vuoroa
Tuotetut korttipakat	73000	pk	1 kpl / 2 h	78000	8 vuoroa
Tuotetut liimakirjat	0	kpl		10500*	5 vuoroa

Planilla siirtyneet pelit	0	kpl
Konerikot + seisokit	16	h

LIITE 9: ALIAS-RYHMÄN JALOSTUSKETJU

Alias- ryhmä	Tarvittavat koneet	ajoaika (h)	tuntihinta	Kuntoon-laitto (h)	Valmistus ajo (€)	Kuntoon-laitto (€)
Trivia-boxi	Painokone	0,00008	65*b	0,3340	0,005*b	21,4*b
	Leikkuri	0,00005	55*b	0,1670	0,003*b	9,4*b
	Pelilinja	0,00013	320*b	4,0000	0,400*b	1282,5*b
Säännöt 2 s.	Painokone	0,00002	65*b	0,2500	0,001*b	10,1*b
	Leikkuri	0,00005	55*b	0,1670	0,003*b	9,4*b
Kortit 400 kpl	Painokone	0,00008	65*b	2,8000	0,005*b	179,5*b
	Korttileikkuri	0,0064	55*b	0,5000	0,360*b	28,2*b
Pelilauta	Painokone	0,00004	65*b	0,6670	0,003*b	42,3*b
	Kaseeraus	0,003	55*b	0,5000	0,169*b	28,2*b
	Wupa	0,0008	55*b	1,0000	0,045*b	56,4*b

PELILINJAN KUNTOONLAITON HINNOITTELUSSA KÄYTETTY KERROIN

kok	100 yks.
*Kerroin = 0,11	11 yks.
osat	30 yks.
Kerroin+osat	41 yks.

b = valmistuksen yksikkökustannus

